



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

## DESIGN KOMPAKTNÍ MSLA 3D TISKÁRNY

DESIGN OF COMPACT MSLA 3D PRINTER

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Anežka Korábová

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. arch. Vladimír Haltof, Ph.D.

BRNO 2021



# Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav konstruování  
Studentka: **Anežka Korábová**  
Studijní program: Aplikované vědy v inženýrství  
Studijní obor: Průmyslový design ve strojírenství  
Vedoucí práce: **Ing. arch. Vladimír Haltof, Ph.D.**  
Akademický rok: 2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## Design kompaktní MSLA 3D tiskárny

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

MSLA 3D tiskárny jsou poměrně mladou technologií, která se díky poměrně nízkým nákladům použitých komponent začíná objevovat vedle 3D tiskáren s FDM technologií. Přes vysokou výslednou kvalitu tisku mají MSLA tiskárny několik zásadních nedostatků. Použití mokrého procesu nebezpečných toxických materiálů a UV světla během tisku, zvýšené nároky na spotřební materiál a údržbu, jsou v současné době hlavními problémy MSLA tiskáren, které tak spolu s řešením ergonomie a podpůrných technologií skýtají potenciál pro vznik nových řešení.

Typ práce: vývojová – designérská

### Cíle bakalářské práce:

Cílem práce je návrh MSLA tiskárny kompaktních rozměrů s důrazem na kvalitu tisku a minimalizaci údržby. Cílovou skupinou jsou výrobci malých detailních modelů a prototypů – šperkaři, designéři, modeláři. Předpokládá se sériová výroba produktu.

Dílní cíle bakalářské práce:

- analýza současného stavu poznání, identifikace problémů a potenciálů v řešené oblasti,
- návrh designu formou variantních kresebných skic a následně 3D modelu,
- prokázání funkčnosti, ergonomie, realizovatelnosti a komerčního potenciálu návrhu.

Požadované výstupy: průvodní zpráva, sumarizační poster.

Rozsah práce: cca 27 000 znaků (15 – 20 stran textu bez obrázků).

Časový plán, struktura práce a šablona průvodní zprávy jsou závazné:

<http://www.ustavkonstruovani.cz/texty/bakalarske-studium-ukonceni/>

**Seznam doporučené literatury:**

DREYFUSS, H., POWELL, E. (2012): Designing for People. Allworth, New York.

FIELL, C., FIELL, P. (2001): Designing the 21st Century. TASCHEN, Kolín nad Rýnem.

JOHNSON, M. (2002): Problem solved. Phaidon, Londýn.

LIDWELL, W., MANACSA, G. (2008): Deconstructing product design. Rockport Publishers, Massachusetts.

MORRIS, R. (2009): The Fundamentals of Product Design. AVA Publishing SA, Lausanne.

NORMAN, D. A. (2004): Emotional Design. Basic Books, New York.

PELCL, J., a kol. (2012): Design od myšlenky k realizaci. Vysoká škola uměleckoprůmyslová v Praze, Praha.

THOMSON, R. (2011): The Manufacturing Guides, Product and Furniture Design. Thames & Hudson Ltd., Londýn.

THOMSON, R. (2011): The Manufacturing Guides, Prototyping and Low-volume Production. Thames & Hudson Ltd., Londýn.

TICHÁ, J., KAPLICKÝ, J. (2002): Future systems. Zlatý řez, Praha.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## ABSTRAKT

Tato bakalářská práce řeší téma návrhu kompaktní MSLA 3D tiskárny. Hlavním cílem této práce je navrhnout MSLA 3D tiskárnu s důrazem na kvalitu tisku a minimální a snadnou údržbu. Navržený design vychází ze získaných poznatků z analýzy současných produktů a technologie produktu. Zohledňuje ergonomické aspekty a přináší nová konstrukční řešení jednotlivých komponentů. Uplatnění produkt nalezne nejen u designérů a modelářů, ale také u domácích kutilů a nadšenců do 3D tisku.

## KLÍČOVÁ SLOVA

MSLA tiskárna, 3D tisk, stereolitografie, pryskyřice, design

## ABSTRACT

This bachelor thesis deals with design of compact MSLA 3D printer. Main goal of this thesis is to design MSLA 3D printer with emphasis on print quality and minimal easy maintenance. Design is based on gained knowledge from analyse of current products and their technology. Design takes account of the ergonomic aspects and brings new constructional solutions of inner components. The application of the product is not only for designers and modelers, but also for handymen and 3D print enthusiasts.

## KEYWORDS

MSLA printer, 3D print, stereolithography, resin, design



## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KORÁBOVÁ, Anežka. *Design kompaktní MSLA 3D tiskárny* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/133012>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav konstruování. Vedoucí práce Vladimír Haltof.





## PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda poděkovala především mému vedoucímu práce panu Ing. arch. Vladimíru Haltofovi, Ph.D., za jeho cenné rady. Dále bych chtěla poděkovat celé své rodině a příteli Matěji Hápovi za podporu během celého dosavadního studia, zejména v posledním ročníku.

## PROHLÁŠENÍ AUTORA O PŮVODNOSTI PRÁCE

Prohlašuji, že bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně, pod odborným vedením Ing. arch. Vladimíra Haltofa, Ph.D. Současně prohlašuji, že všechny zdroje obrazových a textových informací, ze kterých jsem čerpala, jsou řádně citovány v seznamu použitých zdrojů.

.....

Podpis autora



# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ</b>	<b>15</b>
2.1	Designérská analýza	15
2.1.1	Elegoo Mars Pro	16
2.1.2	Original Prusa SL1	17
2.1.3	Anycubic Photon	18
2.1.4	Anycubic Photon Mono X	19
2.1.5	Phrozen Sonic Mini 4K	20
2.1.6	Creality LD-001	21
2.1.7	Creality LD-002R	22
2.1.8	Form 2	22
2.1.9	Form 3	24
2.1.10	Peopoly Phenom	24
2.1.11	Závěr	25
2.2	Technická analýza	26
2.2.1	Dělení 3D tiskáren	26
2.2.2	Princip 3D tisku	28
2.2.3	Komponenty MSLA tiskárny	29
2.2.4	Základní parametry	32
<b>3</b>	<b>ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE</b>	<b>34</b>
3.1	Analýza problému	34
3.2	Analýza, interpretace a zhodnocení rešerše	34
3.3	Cíle práce	35
3.4	Cílová skupina	36
3.5	Základní parametry a legislativní omezení	36
3.6	Použité výrobní technologie, možný trh a cena	37
<b>4</b>	<b>VARIANTNÍ STUDIE DESIGNU</b>	<b>38</b>
4.1	Varianta I	39
4.2	Varianta II	40
4.3	Varianta III	42
4.4	Zhodnocení	43

<b>5</b>	<b>TVAROVÉ ŘEŠENÍ</b>	<b>44</b>
5.1	Základní tvarování	44
5.2	Tvarování vnějších prvků	45
5.3	Tvarování vnitřních komponent	46
<b>6</b>	<b>KONSTRUKČNĚ-TECHNOLOGICKÉ A ERGONOMICKÉ ŘEŠENÍ</b>	<b>47</b>
6.1	Popis	47
6.2	Rozměrové řešení	48
6.3	Vnitřní mechanismy a komponenty	48
6.4	Materiálové řešení	53
6.5	Technologie	53
6.6	Ergonomie	54
6.7	Bezpečnost a hygiena	57
6.8	Udržitelnost	57
<b>7</b>	<b>BAREVNÉ A GRAFICKÉ ŘEŠENÍ</b>	<b>58</b>
7.1	Barevné řešení	58
7.2	Grafické řešení	61
7.2.1	Ovladač	61
7.2.2	Logotyp	63
<b>8</b>	<b>DISKUZE</b>	<b>66</b>
8.1	Psychologická funkce	66
8.2	Sociální funkce	67
8.3	Ekonomická funkce	68
<b>9</b>	<b>ZÁVĚR</b>	<b>69</b>
<b>10</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ</b>	<b>70</b>
<b>11</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN</b>	<b>74</b>
11.1	Seznam použitých zkratk	74
11.2	Seznam použitých veličin	75
<b>12</b>	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ</b>	<b>76</b>



# 1 ÚVOD

V současné době se lidé ve svém běžném životě setkávají s obrovským množstvím produktů, jež jsou vyráběny sériově. Sériová výroba jednotlivých dílů je uzpůsobena požadavkům na tvar, materiál, a dále zde hrají roli ekonomické náklady a další faktory. Pro složitější díly často nelze použít technologii například obrábění či lisování. Zde nastupuje možnost 3D tisku. I tato technologie má své limity, například materiál, velikost výtisku a podobně. Vývoj jde ale velmi dopředu. Jsme schopni tisknout z kovů, jejich kompozitů, plastů a dalších zajímavých materiálů. Tiskárny nabývají větších rozměrů a zároveň většího rozlišení, což umožňuje přesnější a detailnější modely.

3D tisk se v současné době stal velmi populární, ale také užitečnou a všestrannou technikou výroby téměř čehokoliv. Od figurek přes prototypy součástek po kloubní náhrady. Odborníci pracují na tisku aut, budov a dalších větších projektů. To je v praxi stále otázka budoucnosti. Zaměříme-li se na konkrétní technologii 3D tisku, zvanou MSLA, nalezneme díky přesnému tisku její využití v důležitých oblastech, jako například ortodoncie, ale také v průmyslu, např. šperkařství.

Cílem návrhu MSLA 3D tiskárny je nalezení všech problémů, které tato technologie přináší, a jejich řešení či eliminování. Návrh musí být plně funkční, proto je důležité správné řešení propojení jednotlivých součástí. Ovladačem 3D tiskáren je zpravidla dotykový displej, jelikož ovládání 3D tiskárny obsahuje více kroků a důležitých nastavení. Z tohoto důvodu musí být kladen důraz na grafickou stránku ovladače.

## 2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

Nahlédneme-li do historie, jedním z prvních patentů technologie pro 3D tisk byl patent Charlesse Hulla, který pojednává o technologii stereolitografie (SLA). Tiskárna byla sestavena v roce 1983. Následně byly vynalezeny další technologie 3D tisku, jako SLS nebo LOM. Dnes velice populární metoda tisku, zvaná FDM, byla vyvinuta roku 1989 Scottem Crumpem (viz kapitola 2.2.1). [1,2]

Po vypršení patentů se 3D tisk velmi rozšířil. Důležitým krokem byl projekt Rep Rap z roku 2005, který nabízel běžným uživatelům možnost sestavení si vlastní tiskárny. V návaznosti vznikaly další projekty, například tiskárna Fab@Home nebo MakerBot. 3D tisk se stal dostupným pro veřejnost a začaly vznikat skupiny nadšenců a domácích kutilů. [1,2]

Uplatnění 3D tisku je široké. Veliký rozvoj zaznamenal 3D tisk v oboru zdravotnictví. Například v roce 2002 byla vytištěna první funkční ledvina, v roce 2008 umělá nožní protéza a následující rok zaznamenal vývoj bio-tisku využívající lidské buňky. V potravinářském průmyslu se objevuje tisk z čokolády a jiných potravin. Technologie 3D tisku se protlačuje také do automobilového a leteckého průmyslu, počínaje malými součástkami, většími díly konče. [2]

3D tisk se stále vyvíjí, objevují se nové patenty, zkoumají se nové možné materiály. V dnešní době jsme schopni tisknout například z plastů, nejčastěji polyamidů, keramiky, řady kovů (titan, hliník, ocel) a jejich kompozitů. [3]

### 2.1 Designérská analýza

Technologie 3D tisku je poměrně mladá a stále se rozvíjející. I přesto, že je tato technologie na počátku vývoje, získala si velkou popularitu nejen v odborném uplatnění, ale také u domácích kutilů. MSLA 3D tiskárnu si dnes může koupit každý. Na trhu se tak objevuje spousta konkurenčních produktů, ať už zahraničních, tak i českých výrobců.

V následujících podkapitolách jsou zmíněny aktuální produkty na trhu dostupné pro české klienty.

### 2.1.1 Elegoo Mars Pro

Tato tiskárna upoutá pozornost červeným odnímatelným. To přináší potřebu dalšího prostoru pro odložení krytu. Celkové tvarování tiskárny je řešeno kvádrem se zaoblenými hranami, z něhož třetinu tvoří základní tělo tiskárny. Celý kvádr stojí na čtyřech kuželovitých nohách. Ovladačem je dotykový displej, který je zanořen do trupu tiskárny, což umožní sklon od svislé osy pro snazší čitelnost.

Nádoba na pryskyřici je vyrobena z hliníku, který zaručuje nižší hmotnost. Nevýhodou hliníku však je, že neumožňuje náhled na začátek procesu, kdy probíhá tisk prvních vrstev.

Jedním z nejdůležitějších prvků tiskárny je vodící dráha ve svislé ose, po níž se pohybuje hlavice s konstrukční deskou. Konstrukce zajišťuje pohyb s tolerancí 0,02 mm, což má vliv na výšku tisknuté vrstvy, a tak na hladkost povrchu. Monochromatický LCD displej disponuje rozlišením 2K.

Pro přenos souborů do tiskárny je použit běžný USB port, který je umístěn v přední části pod displejem. V předchozí verzi, Elegoo Mars UV Photocuring, byl USB port umístěn v zadní části tiskárny, což bylo méně nepraktické.

Zápach pryskyřice řeší tento model silikonovou gumou, jež se dá nasadit na kryt. Zápach je poté eliminován absorbuující vrstvou aktivního uhlí a vyloučen chladícím ventilátorem.

Rozměry tisku mají mezní hodnoty (120 × 68 × 155) mm. Celá tiskárna má jednoduchý kvádrový tvar s podstavou čtverce o straně 200 mm a výšku 410 mm. [4]



Obr. 2-1 Elegoo Mars [4]



## 2.1.2 Original Prusa SL1

Je třeba zmínit českého výrobce 3D tiskáren, jímž je firma Josefa Průši. Tiskárna má velmi podobné tvarování jako předešlý produkt. Hrany kvádrů jsou zde zkosené a celá tiskárna je uložena na nízkých válcovitých nohách. Kryt je výklopný, což může být nevýhodou v případě potřeby výměny krytu, ovšem při běžné manipulaci je tento mechanismus v porovnání s odnímatelným krytem jednodušší. Kryt nezasahuje do zadní stěny a člení boční stěny šikmým řezem.

Nádoba na pryskyřici je náklonná, což jednak zaručí promíchávání pryskyřice a jednak snižuje zátěž osy z při odlepení vrstvy od FEP folie. Tato funkce řadí tiskárnu do vyšší cenové kategorie. Konstrukční deska je broušená pro lepší přilnavost modelu k jejímu povrchu. Přídavnou funkcí je senzor hladiny pryskyřice.

Tiskový mechanismus je schopen vlastní automatické kalibrace. Vanička na pryskyřici je náklonná, čímž snižuje statickou sílu na ose z. Celý rám je duralový, tisková konstrukce je tedy pevná a nosná. Výška tisknuté vrstvy je možná od 0,1 mm až do 0,01 mm. Rozlišení monochromatického displeje je  $(2560 \times 1440)$  px.

Dotykový displej, sloužící jako ovladač, je zapuštěný do tiskárny podobně jako u výrobku Elegoo Mars Pro. Je tedy umístěn ve spodní části tiskárny s mírným sklonem od svislé polohy.

Pro odvod výfukových par z pryskyřice je zde rovněž použitý filtr z aktivního uhlí.

Maximální velikost pro tisk modelu je omezena rozměry  $(120 \times 68 \times 150)$  mm. Tiskárna má celkovou šířku 225 mm, hloubku 237 mm a výšku 400 mm. Je tedy větší než předchozí tiskárna značky Elegoo a má nižší prostor pro tisk. [5]



Obr. 2-2 Original Prusa SL1 [5]

### 2.1.3 Anycubic Photon

Tiskárna Anycubic Photon je již starší model. Víko tiskárny je vyklápěcím dílem, který tvoří přední a horní stěna. Boční stěny jsou pevné, což omezuje přístup do vnitřního prostoru.

Členění tiskárny se od jiných výrobců výrazně liší. Tvarování využívá více velikostí zkosení hran. Tiskárna je celistvá a náhled do vnitřních prostor je umožněn skrze tři prosklené otvory. Zorný úhel pro průhled do tiskárny je menší než u předešlých produktů. Toto není příliš velkým problémem, jelikož se kontrola pohledem provádí především z čelního pohledu. Jedním z dominantních prvků tiskárny jsou nohy, na nichž je usazena. Mají neobvyklé tvarování se zlomem po obvodu. K víku, jenž je ohraničeno červeným pruhem, je přidán výrazný úchyt. Uživatel nemá problém s manipulací při otevírání a zavírání tiskárny. Úchyt tvarově nekoresponduje s hranatým tvarováním tiskárny.

Prostor tisku je dán rozměry ( $115 \times 65 \times 155$ ) mm. Je tedy menší než novější model tohoto výrobce. Také samotná tiskárna je menší, její podstavu tvoří obdélník o stranách ( $220 \times 200$ ) mm, tiskárna je vysoká 400 mm. [6]



Obr. 2-3 Anycubic Photon [6]

## 2.1.4 Anycubic Photon Mono X

Tiskárna Photon Mono X, rovněž značky Anycubic, se svým designem výrazně liší od předešlého produktu. Byl zde zvolen odnímatelný průhledný kryt, který působí vzdušně, ale přináší potřebu dalšího prostoru pro odložení víka. Kombinace černé a žluté působí velmi poutavě. Spodní světlý pruh pro název produktu tiskárně opticky snižuje hmotnost. Tiskárna nemá podstavné nohy.

USB port je umístěn ze strany, což může být komplikací, máme-li limitovaný prostor pro tiskárnu. Ovladač je řešen velmi podobně jako u předešlých tiskáren.

Pojízdný mechanismus je přesný a pevnější díky dvěma vodícím drahám. Minimální výška vrstvy tisku je 0,01 mm. Rozlišení v rovině  $xy$  je dáno rozlišením monochromatického displeje, které je u tohoto produktu  $(3840 \times 2400)$  px.

Tiskárna vyniká především svými rozměry. Samotný produkt je kvádr vysoký 495 mm s podstavou 290 mm na 270 mm. Prostor pro tisk je omezen maximálními rozměry  $(192 \times 120 \times 245)$  mm. Tato 3D tiskárna může tisknout větší modely než předešlé konkurenční výrobky. [7]



Obr. 2-4 Anycubic Photon Mono X [7]

### 2.1.5 Phrozen Sonic Mini 4K

3D tiskárna značky Phrozen je tvarována do komolého jehlanu, což navozuje pocit větší stability. Tiskárna má ovšem větší půdorys v souvislosti s velikostí prostoru tisku. Křídlo mechanismu je celistvý odnímatelný kus. Nohy tiskárny jsou řešeny prodloužením zaoblení na hranách a nerozbíjí tak celistvost tvaru. Neumožňují nastavení tiskárny do vodorovné polohy v případě nerovné podložky. Ovladač, tedy displej, je umístěn ve spodní části tiskárny, částečně zanořen do trupu. Nádobka na pryskyřici je z hliníku, což zaručuje menší hmotnost.

Konstrukční deska má hladký povrch, což by mohlo u některých druhů pryskyřice způsobit nedokonalé přilnutí modelu k povrchu desky. Součástí balení je ovšem drátěná houbička, která umožní uživateli povrch zdrsňovat dle jeho potřeb.

Pojízdný mechanismus, po němž se svisle pohybuje konstrukční deska, má jednu vodící dráhu. Monochromatický LCD displej se posunul z předešlé verze ze 2K na rozlišení 4K, čímž zaručuje přesnější modely.

USB port je na tiskárně umístěn na boční straně. Na zadní stěně nalezneme překlopný vypínač společně s vyústěním větrání. Toto uspořádání není příliš intuitivní a uživateli může působit obtíže. [8]

Tiskové rozměry tiskárny jsou zde v maximální hodnotě ( $134 \times 75 \times 130$ ) mm. Celá tiskárna je vysoká 334 mm a její podstavou je čtverec o straně 253 mm. [9]



Obr. 2-5 Phrozen Sonic Mini 4K [8]

### 2.1.6 Creality LD-001

Tato 3D tiskárna obsahuje tmavý kryt, jenž se vyklápí. Obě boční stěny a zadní stěna jsou pevné a neprůsvitné, což nám zabraňuje ve výhledu na proces tisku, ale také velmi omezuje manipulaci ve vnitřním prostoru tiskárny. Dominantními prvky jsou protichůdně zaoblené hrany a také lemující modrý pruh.

Tiskárna obsahuje USB port na boční stěně a také možnost připojení ethernetovým kabelem, který má port v zadní části. Tato rozmanitost jednotlivých portů a ovládání není příliš praktická.

Rozměry tiskárny jsou  $(220 \times 240 \times 360)$  mm a její maximální prostor tisku se pohybuje v rozměrech  $(120 \times 70 \times 120)$  mm. [10]



Obr. 2-6 Creality LD-001 [10]

### 2.1.7 Creality LD-002R

Novější model tiskárny značky Creality je velmi podobný tiskárně Elegoo Mars či Prusa SL1. Tiskárnu tvoří kvádr se zkosenými hranami a horní dvě třetiny objektu tvoří odnímatelný průhledný kryt. Tiskárna je usazena na nízkých válcovitých nohách.

USB port se nachází na pravé boční stěně. Zapínací stiskací tlačítko a ovladač jsou umístěny na stěně přední. Z hlediska snadného ovládání by bylo praktičtější umístění na společném místě.

Tiskárna obsahuje aktivní uhlí pro redukci výparů z pryskyřice. Maximální tiskové rozměry jsou  $(119 \times 65 \times 160)$  mm. Tiskárna má rozměry  $(221 \times 221 \times 403)$  mm. [11]



Obr. 2-7 Creality LD-002R [11]

### 2.1.8 Form 2

Tiskárna značky Formlabs je zaměřená spíše na průmyslové použití, například pro obor stomatologie, než pro domácí nadšence. Tento fakt se projevuje v cenové kategorii. Zatímco předešlé produkty se v ceně pohybují do 20 000 Kč, tuto tiskárnu pořídíme za 70 000 Kč. Tiskárna neobsahuje LCD displej, jelikož se jedná o druh technologie LFS (Low Force Stereolithography). Vytvrzení pryskyřice se dosáhne působením laseru. [12]

Celkové tvarování tiskárny je rozlišené do dvou částí, hlavního těla a krytu, který je odsazen. Tělo tiskárny je širší a na rozdíl od předešlých produktů je laděno do světlé barvy. To by mohlo být nepraktické při potřísnění pryskyřicí. Kryt je výklopný, drží na zadní stěně, jež je součástí spodního těla tiskárny. Zadní stěna má svou funkci, čímž se liší od předešlých produktů. Do zadní stěny se vsouvají zásobníky s pryskyřicí, a tak není potřeba dolévat pryskyřici do vaničky. [13]

Řešení ovladače je také odlišné. Jedná se opět o dotykový displej, který ovšem není nijak zanořen do těla. Displej je orientován svisle, což není ergonomicky vhodné vzhledem k nízké poloze umístění displeje.

Tiskový prostor má rozměry  $(145 \times 145 \times 175)$  mm a celkové rozměry tiskárny činí  $(345 \times 330 \times 520)$  mm. [14]



Obr. 2-8 Form 2 [14]

### 2.1.9 Form 3

Již na první pohled je tiskárna Form 3, taktéž od společnosti Formlabs, dynamičtější než předešlé produkty. Tiskárna má celistvý tvar, kryt navazuje na tělo tiskárny. Tvarování vychází z kvádrů, který se naklání do zadní části a zužuje se. Ovladač má mírný sklon díky celkovému tvarování.

Tiskárna se odvíjí od předešlého modelu Form 2 a nabízí pokročilejší technické možnosti. Tloušťka jedné tisknuté vrstvy dosahuje minimální hodnoty dokonce 0,0025 mm. Povrch zhotoveného modelu je téměř dokonale hladký. Cena takové tiskárny je přes 100 000 Kč.

Tiskárna má velikost (405 × 375 × 530) mm a prostor tisku je vymezen maximálními rozměry (145 × 145 × 185) mm. [15,16]



Obr. 2-9 Form 3 [16]

### 2.1.10 Peopoly Phenom

Tiskárna Peopoly Phenom se otevírá v přední části. To umožní jen omezený přístup do vnitřního prostoru. Náhled na průběh tisku je také možný pouze z čelního pohledu. Jako tvarový prvek tiskárny je zvoleno decentní zaoblení, které se opakuje také ve vykrojení průhledné plochy.

Tento produkt spadá do vyšší cenové kategorie z důvodu větších tiskových rozměrů. Tiskárnu Phenom nakoupíme zhruba za 50 000 Kč.

Ovladačem je dotykový displej, který je umístěn kolmo k podložce v nízké úrovni. Tato orientace ovladače není ergonomicky vhodná.



Prostor tisku je vytyčen maximálními rozměry (276 × 155 × 400) mm. V porovnání s konkurenčními produkty nabízí tiskárna tisk větších modelů. Produkt se vyrábí také ve velikosti L, kde je tiskový prostor velký (345,6 × 194,4 × 400) mm. [17]



Obr. 2-10 Peopoly Phenom [17]

### 2.1.11 Závěr

Mohli jsme si všimnout, že většina výrobků má velmi podobný design. Základním tvarem je kvádr, často se zkosenými svislými hranami, který nepřináší technické problémy a je ekonomicky výhodný díky snadné výrobě. Ovladač, dotykový displej, je umístěn do spodní části pro snazší konstrukci. Z hlediska ergonomie by byla lepší varianta umístění v horní části tiskárny a větší sklon ovladače. Zde by měl být kladen důraz na jeho grafické ztvárnění. Většina tiskáren volí tmavé barvy základního dílu a opticky dominantní kryt barevně odlišený. Průhlednost krytu snižuje optickou hmotnost celé tiskárny.

V současných produktech 3D tiskáren se upřednostňuje snadná výroba na úkor ergonomie. Důležitými parametry jsou technické prvky a jejich správná funkce. Jako design se osvědčil jednoduchý princip a estetika není hlavním bodem v souboji konkurence.

## 2.2 Technická analýza

Existuje několik druhů 3D tiskáren, které se odlišují technologií tisku. Jednotlivé technologie specifikují součásti a uspořádání tiskárny jako takové. Nejprve si tedy ukážeme jednotlivé druhy tiskáren. Dále se zaměříme již na konkrétní technologii tisku, zvanou MSLA.

### 2.2.1 Dělení 3D tiskáren

Všechny 3D tiskárny fungují na stejném podkladu, kterým je aditivní přidávání materiálu a postupné vrstvení. Existuje několik používaných způsobů, jak tvořit jednotlivé vrstvy. Podle toho dělíme druhy tiskáren na následující.

#### SLA

Metoda stereolitografie spočívá ve vytvrzení pryskyřice působením UV záření. Tento jev se nazývá fotopolymerizace (viz kapitola 2.2.2). Záření je vysíláno formou laseru, projektorem nebo LCD displejem.

Vyzařuje-li tiskárna záření laserem, který vykresluje část, jež má být vytvrzena, nazýváme technologii rovněž SLA. Pohyb laseru zajišťuje plynulé křivky a povrch výsledného modelu je tak velmi hladký. Průměr laseru je ovšem limitovaný a jemné detaily mohou splynout. [18]

Používáme-li metodu DLP, záření vydává digitální projektor a kvalita tisku se tak odvíjí od rozlišení projektoru. Vyzářené UV světlo je pak regulováno pomocí soustavy zrcadel. Křivky nejsou hladké, jelikož digitální projektor pracuje v pixelech. Pokud má ovšem projektor vysoké rozlišení, křivky se na první pohled jeví plynulé a tiskárna je schopna vytisknout i malé detaily. Technologie MSLA je velmi podobná DLP. Ultrafialové záření prochází LCD displejem, který jej maskuje. Kvalita tištěného modelu je závislá na rozlišení LCD displeje. [18]

SLA tisk je vhodný pro výrobu funkčních prototypů a výrobků s nároky na detail, jako jsou vzorované produkty, nástroje a formy. Taktéž se tato technologie stala populární ve šperkařském průmyslu. Také nabízí možnost tisku z biokompatibilních materiálů, vhodných například pro stomatologii, tisk keramiky, materiálů s pružným chováním či s transparentními materiály. Užití je tedy velmi rozmanité. [18]

## SLS

Technologie SLS (Selective Laser Sintering) používá práškové materiály, které jsou laserem zahřáty na tavnou teplotu. Natavená část se spojí a vytvoří celistvý tvar.

Touto metodou lze tisknout z široké škály materiálů a výsledné modely se vyznačují dobrými mechanickými vlastnostmi. Nejtypičtějším stavebním materiálem pro SLS tisk je nylon, který je pevný a odolný vůči vnějším vlivům, například UV záření, světlu, teple a podobně. [19]

## LOM

Výroba laminovaných předmětů, využívá skládání jednotlivých vrstev, stejně jako jiné typy 3D tisku, ale jednotlivé vrstvy mají zcela jiný charakter.

Vrstva modelu se skládá z celistvého kusu, který je nejčastěji vyříznutý laserem. Základním materiálem je tedy cokoliv s minimálním třetím rozměrem. Čím menší je výška polotovaru, tím nižší je vrstva a výsledný model je tak přesnější a jemnější.

Jako polotovar je vhodný například papír, který je velmi tenký. Z vyřezaných vrstev papíru se poté seskládá model, který může být například potáhnut plastovým povrchem. Mezi možné materiály se řadí také plasty, kovy nebo keramika. [20]

Tato metoda není velmi ekonomická, zhotovené modely stojí více času a výsledek přesto není dokonalý. Další nevýhodou je vzniklý odpad z polotovaru. Metoda LOM se neosvědčila a již se s ní setkáme jen zřídka. [2]

## FDM

Technologie FDM (Fused Deposition Modeling) vytváří jednotlivé vrstvy tak, že je vykresluje tryskou, která nanáší roztavený filament.

Dráha materiálu vytlačeného tryskou je částečně zaoblená a mohou místy vznikat mezery. Tloušťka vrstvy je větší než u jiných technologií a jednotlivé vrstvy jsou okem viditelné. Model je tedy hrubý a není tolik přesný.

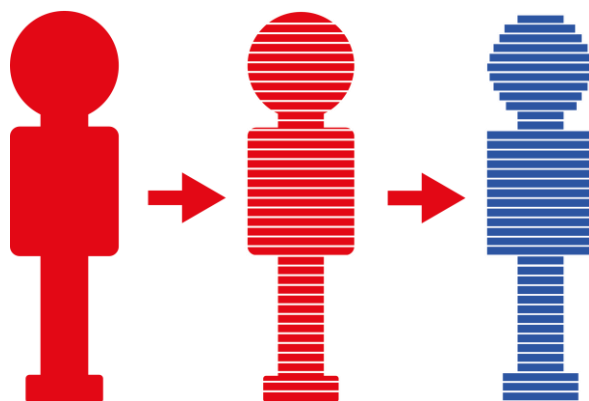
Tisk metodou FDM má i své výhody. Především jde o rychlý tisk. Pořizovací ani provozní náklady nejsou tak vysoké. V průběhu tisku jedné součásti lze změnit filament a docílit například vícebarevného modelu. [21]

Materiálem pro tisk bývá nejčastěji termoplast, například ABS, PLA, PEI, PEEK, také je možnost tisknout z nylonu, materiálů imitujících dřevo nebo kámen (Laywoo-D3; Laybrick) a podobně. Materiály závisí na typu tiskárny, jaké materiály podporuje. [21,22]

Využití FDM tisku je díky své rychlosti v tisku vhodné pro tvorbu prvních prototypů nebo 3D modelů sloužících k ujasnění objemů a prostoru. Díky nízkým nákladům si technologie našla uplatnění u domácích nadšenců, a také ve vzdělávacích institucích, například pro tisk pomůcek do výuky jako chemické uspořádání atomů, matematické mnohostěny a podobně.

## 2.2.2 Princip 3D tisku

Vytisknutím na 3D tiskárně rozumíme převedení počítačového modelu do fyzického. Pro zahájení tisku se počítačový model nejprve rozdělí na jednotlivé rovnoběžné vrstvy. Tisk modelu následně probíhá postupně po vrstvách (viz Obr. 2–11). Výška jedné vrstvy se nejčastěji pohybuje v tloušťce 0,1–0,05 mm, závisle na typu tiskárny.



Obr. 2-11 Vrstvy modelu

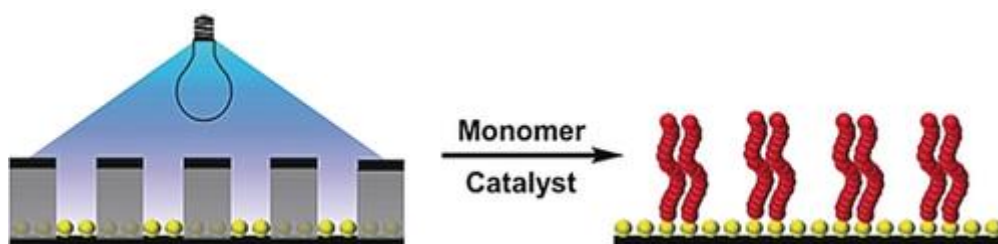
Metoda tisku po vrstvách spadá pod pojem aditivní výroba. Tím rozumíme tvorbu postupným přidáváním materiálu.

### Fotopolymerizace

Tiskárny s technologií MSLA využívají fotopolymerizaci k vytvoření jednotlivých vrstev. Fotopolymerizací rozumíme proces, kdy se z monomeru stává polymer z důvodu působení záření. Výsledek procesu polymerizace pak nazveme vytvrzením.

Záření vydá excitovanou částici, čímž způsobí štěpení vazby na iniciátoru a vznikne radikál. Radikál se naváže na elektron dvojné vazby v monomeru. Volný elektron vytvoří aktivní centrum, které se stejným způsobem váže na další monomer. Vznikne nové aktivní centrum a tím nastává řetězová reakce, kde se jednotlivé monomery spojí kovalentními vazbami do polymerního řetězce. [24]

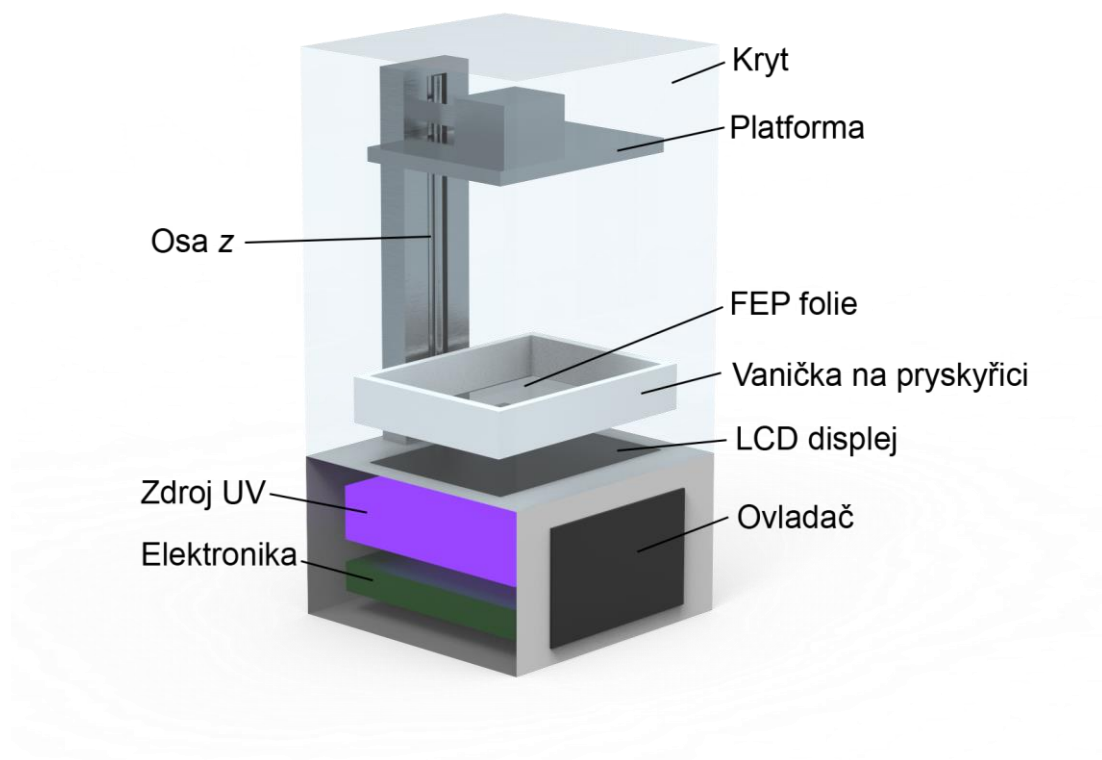
Pro vytvrzení vrstvy o daném tvaru využívá technologie MSLA LCD displej, který maskuje požadované plochy. Jinými slovy propustí UV světlo jen v místech, kde se má pryskyřice vytvrdit. (Obr. 2–12)



Obr. 2-12 Maskování při fotopolymerizaci [25]

### 2.2.3 Komponenty MSLA tiskárny

Tiskárna obsahuje důležité funkční části, které zaručují samotný 3D tisk. Tyto komponenty jsou znázorněny viz Obr. 2–13. Dalšími důležitými komponenty jsou vnější prvky tiskárny, jako například kryt, ovladač apod. Ty nejdůležitější prvky si v této kapitole rozebereme.



Obr. 2-13 Komponenty MSLA tiskárny (upraveno) [26]

#### Osa z

Osa určuje pohyb platformy s výtiskem směrem vzhůru. Tento směr pohybu velmi ovlivňuje kvalitu výtisku (Obr. 2–14).

Platforma, též konstrukční deska, se pohybuje po základní tyči se závitem. Rozteč závitu je velmi jemná a udává výslednou výšku jedné tisknutelné vrstvy modelu. Aby byl pohyb pouze ve směru z, je tyč podpořena vedlejšími vodícími drahami.

Při dotisknutí jedné vrstvy se musí model odlepit od FEP folie a posunout se vzhůru o výšku vrstvy. Odlepení vrstvy vyžaduje velkou sílu, jelikož se vrstva odlepuje po celém povrchu současně. Tato statická síla se dá redukovat dalšími technologiemi, například naklápěcí vaničkou. Toto řešení využívá tiskárna Prusa SL1. [5] Další možností je využít osu dalšími prvky nebo použít bytelnější materiál na úkor větší hmotnosti tiskárny.

Platforma pohybující se po ose se musí před každým tiskem kalibrovat, aby rovina dokonale dosedala na plochu displeje. Kalibrace je možná ručně, pomocí šroubů, jako to nalezneme u většiny současných produktů. Tento problém lze vyřešit i elektronicky. (Obr. 2–14) [5]



Obr. 2-14 Automatická kalibrace platformy, výrobce Prusa [5]

### Vanička na pryskyřici

Vanička musí být dostatečně vysoká, aby z ní nevytékala pryskyřice. Nejčastěji se vyrábí z hliníku [5,17], případně i z plastu [2]. Někteří výrobci používají slitiny, například dural. Vanička se k tělu tiskárny připevňuje nejčastěji čtyřmi šrouby. K těmto šroubům by měl být snadný přístup.

Dno vaničky je tvořeno FEP (fluorethylenpropylen) folií. Tato folie se rychle a poměrně snadno poničí, jelikož k vytvrzování pryskyřice dochází přímo na ní. Je tedy potřeba, aby byla snadno vyměnitelná. Někteří výrobci se přiklonili k výrobě plastových vaniček, ve kterých je FEP folie usazená napevno, a v případě poškození se vymění celá vanička. Toto řešení je jednodušší pro uživatele, vzniká tak ale více odpadu.



Obr. 2-15 Osa z s platformou a vaničkou, výrobce Peopoly [17]

## LCD displej

Tato komponenta slouží k maskování UV záření. Na velikosti displeje závisí rozměr tiskové plochy ve směru  $x$  a  $y$ . Kvalita výtisku v rámci vrstev se odvíjí od rozlišení displeje. Dnes už je displej s rozlišením 2K i 4K běžně na trhu.



Obr. 2-16 LCD displej umístěný v tiskárně Ancyubic Photon [6]

## Zdroj UV záření

Ultrafialové záření je vydáváno z vrstvy pod LCD displejem, kde jsou rozmístěny diody. Záření je pak regulováno zrcadly, většinou parabolickými.



Obr. 2-17 Zdroj UV záření tiskárny Elegoo Mars Pro [4]

## Ovladač

Ovladačem 3D tiskárny je zpravidla dotykový displej. Zadávání úkonů do tiskárny a také kontrola průběhu tisku ani jiné řešení neumožňují. Pro snadné a přehledné ovládání je třeba dobře zpracovat grafickou podobu ovladače.

Z pohledu ergonomie by měl být ovladač umístěn v optimální rovině pro člověka 50. percentilu. Také by měl být nakloněn kolmo k ose pohledu pro dobrou čitelnost.

Tiskárna obsahuje také ovladač pro spuštění, který se řeší formou stiskacího tlačítka nebo překlopného vypínače. Dalšími prvky tiskárny jsou USB port, případně ethernetový. Ty slouží pro vložení informace do tiskárny. Některé tiskárny obsahují také wifi.

## Kryt

Celá tiskárna má většinou plastové nebo plechové opláštění, s výjimkou krytu. Ten by měl být alespoň z části průhledný, aby mohl uživatel pohledem kontrolovat průběh tisku. Současné produkty využívají celý kryt průhledný. Kryt tvoří zhruba 2/3 hmoty a s průhledností snižuje optickou hmotnost tiskárny. Může to ovšem přinést riziko vniku vnějšího světla a vytvrzení pryskyřice tam, kde být vytvrzena nemá.

Průhledná část krytu se vyrábí z UV nepropustného plastu.

### 2.2.4 Základní parametry

Tiskárny MSLA jsou žádané díky svým výtiskům libovolných tvarů s kvalitním povrchem. Podle nároků uživatele se vybírá tiskárna nejprve podle zásadních technických specifikací. Těmi jsou rozlišení LCD displeje, minimální výška vrstvy (rozlišení v ose z), a maximální rozměr tisku. Rozměry tisku se pohybují nejčastěji do 150 mm ve směru x a y (viz kap. 2.1). Větší rozměry přináší vyšší nároky na pevnost ve směru z. Minimální výška vrstvy je u některých tiskáren menší než 0,01 mm, ovšem pro tisk je optimální pohybovat se v rozmezí 0,025 mm – 0,1 mm. [5]

Jelikož jsou tiskárny konstruovány tak, aby je měl uživatel usazené na stole či pracovní lince, je důležitá také hmotnost tiskárny a celkové rozměry. Hmotnost je ovlivněna vedle rozměru také volbou materiálu pro konstrukci. Osa z může být z části hliníková, aby se snížila hmotnost, je to ale na úkor pevnosti. Hmotnost se pohybuje tradičně v rozmezí 5 kg [9] až 17,5 kg [15], v případě tiskáren větší velikosti (často značeno L, XL, XXL) se dostaneme až na hmotnost 115 kg. [27] Rozměry tiskárny se odvíjí od rozměrů tisku.

Způsob importu informací do tiskárny je tradičně řešen přes USB. Některé tiskárny mají přidanou funkci wifi, případně možnost připojení síťového kabelu. To může být výhodou, přenášíme-li do tiskárny velký soubor. Síťový kabel zajistí rychlejší přenos informací.



Rozměr tisku tvoří ve dvou rozměrech LCD displej a ve třetím směru výška osy  $z$ . Výška je libovolná, výrobce si ji stanovuje zejména podle nároků na celkové rozměry tiskárny. Příliš vysoká osa je ovšem náchylnější na zakřivení vlivem statické síly při odlepování tisknuté vrstvy z FEP folie. Maskovací LCD displeje tvoří velké procento ceny. Pokud má zákazník limit například 30 000 Kč, může si dovolit tiskárnu s rozměry ve směru  $x$  a  $y$  do 200 mm. Poměr stran LCD displeje závisí na výrobci, například tiskárny společnosti Formlabs mají poměr stran 1 : 1. [14] Tiskové rozměry větších tiskáren, například Phenom společnosti Peoply, mají LCD displej o rozměrech (276 × 155) mm. Poměr stran je zde tedy zvolený 16 : 9. Takto veliký displej už ovšem posune cenovou kategorii tiskárny na 50 000 Kč. [17]

## 3 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE

Z designerské a technické analýzy vyplynulo několik problémů, se kterými se může setkat uživatel MSLA tiskárny, ale také například výrobce. Tyto problémy jsou rozebrány v následujících kapitolách.

### 3.1 Analýza problému

Při návrhu tiskárny je třeba zahrnout aspekty ergonomie, hygieny, technologie výroby apod.

Příprava tisku na MSLA tiskárně vyžaduje nalití pryskyřice do vaničky. Při tomto úkonu může docházet k potřísnění vedlejších povrchů. Samotná pryskyřice v tekutém stavu má poměrně nízkou viskozitu a snadno zateče do úzkých mezer. Dostane-li se pryskyřice do vnitřní elektroniky, zničí ji. Pokud by znečištění od pryskyřice zůstalo na povrchu týdny až měsíce, mohlo by dojít k jejímu vytvrzení a povrch by byl znehodnocen.

V průběhu tisku je dobré vizuálně kontrolovat, probíhá-li vše v pořádku. Může dojít například ke změně sklonu plochy platformy vlivem statického zatížení při odlepování vrstvy z FEP folie, což se viditelně projeví na kvalitě modelu. Také může nastat situace, kdy je ve vaničce nedostatek pryskyřice, a nemá-li tiskárna senzor hladiny, tiskárna vytvrzuje na prázdno, čímž může dojít k poškození FEP folie a rovněž modelu.

Umístění ovladače musí respektovat ergonomické parametry. Jelikož je ovladačem dotykový displej, je velmi důležité jeho grafické zpracování. Ovládání by mělo být intuitivní a přehledné. Případné použité piktogramy musí být jednoduché a snadno pochopitelné, text dobře čitelný.

### 3.2 Analýza, interpretace a zhodnocení řešerše

Tvarové řešení současných produktů není příliš rozmanité. Produkty vycházejí ze základního kvádru, který je definován vnitřním objemem tisku a potřebným prostorem pro elektroniku. Díky materiálům, jež nepropouští UV záření a zároveň jsou průhledné, si stále více produktů dovoluje design s větším poměrem průhledné části krytu. To umožní optické zlehčení tiskárny. Vzniká ovšem riziko nechtěného vytvrzení pryskyřice, například kapek na povrchu tiskárny. Proto je třeba klást důraz na volbu materiálu, jenž tvoří průhlednou část.

Ze současného stavu poznání vyplývá, že uspořádání komponentů tiskárny je uzpůsobeno tak, aby zajistilo snadnou výrobu. Všechna elektronika je umístěna ve spodní části tiskárny, kde se rovněž nachází technologie pro tisk, tedy zdroj UV záření a LCD displej. Tyto aspekty nerespektují ergonomicky vhodné umístění ovladače, tedy dotykového displeje. Displej je umístěn příliš nízko, mimo optimální rovinu pro 50. percentil člověka. Rovněž je často svislý, případně s mírným sklonem. Úhel svírající s osou pohledu je nevyhovující.

Některé současné produkty mají plně odnímatelný kryt. Zde je třeba zvážit důležitost náhledu do tiskárny na úkor půdorysu při otevření tiskárny. Kryt, který se odnímá celý, zaujímá při odejmutí větší prostor, a také je hůře uchopitelný. Vhodnějším řešením je otevírací kryt s použitím tvarových zahloubení nebo výčnělků pro snadnou manipulaci.

Obtížnou manipulaci vyžaduje způsob umístění vnitřních komponent. Vanička na pryskyřici se ve většině produktů šroubuje, rovněž je šroubovací i platforma. Při výměně FEP folie je třeba novou folii napnout do rámu také pomocí šroubů. Toto řešení je konstrukčně snadno výrobitelné, ovšem uživatelsky méně přívětivé.

### 3.3 Cíle práce

Cílem práce je navrhnout MSLA tiskárnu tak, aby byla zaručena kvalita tisku. Návrh tiskárny zohlední minimální a snadnou údržbu. Tiskárna bude nabývat kompaktních rozměrů.

Při zhodnocení poznatků a problémů byly stanoveny důležité parametry a prvky, které by měly být v návrhu dodrženy. Dílčími cíli jsou:

- umístění ovladače s ohledem na ergonomii člověka a hygienu (mimo prostor, kde hrozí potřísnění pryskyřicí apod.)
- možnost nahlížet na průběh tisku po celou dobu procesu
- s ohledem na statickou sílu při odlepování vrstvy vyztužení osy  $z$ , případně redukce síly přidáním mechanismem
- volba vhodného způsobu otevírání krytu, aby nezavazal při manipulaci s modelem nebo ovladačem
- snadná výměna FEP folie
- navržení vnitřní konstrukce pro snadnou manipulaci s vnitřními komponenty a tištěným modelem
- stanovení rozměrů tisku v rozmezí v rovině  $xy$  100 mm – 200 mm a v ose  $z$  200 mm – 300 mm
- volba rozlišení displeje minimálně 2K
- výběr spolehlivého UV nepropustného materiálu.

### 3.4 Cílová skupina

Cílová skupina MSLA tiskáren obecně zasahuje do oborů šperkařství, designerství, případně zdravotnictví. Pro zdravotnické účely se kladou na tiskárnu vyšší nároky, je důležitá volba pryskyřice a také způsob užití je odlišný.

Návrh bude zaměřen především na potřeby modelářů a designérů. Tiskárna musí sloužit k vytisknutí drobných detailů, což otevírá možnosti také šperkařům, ale také pro ujasnění objemů, výrobu prototypů apod., tedy k tisku větších modelů, řádově v centimetrech. Velké procento zákazníků tvoří také domácí kutilové a nadšenci do 3D tisku.

Většina uživatelů MSLA 3D tiskáren jsou mladí lidé se znalostmi moderních technologií. Tiskárny jsou populární celosvětově, trh tedy není omezen na určitou geografickou oblast.

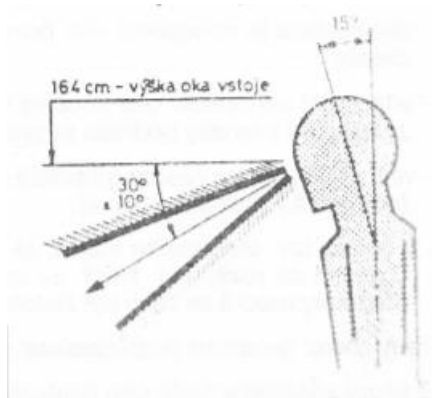
### 3.5 Základní parametry a legislativní omezení

Tiskárny jsou určeny k umístění na pracovní stůl a nevyžadují manipulaci člověka. Na jejich hmotnost tak nejsou kladeny omezení. Rozměry se odvíjí od rozměrů tisku. Důležitějším parametrem je tedy rozdíl maximálního tiskového prostoru od rozměru celé tiskárny. Je potřeba docílit co nejmenšího přesahu od tiskového prostoru, aby uživateli tiskárna s daným tiskovým prostorem nezabírala značně více místa než konkurenční produkty. Rozměr tiskového prostoru ve směru  $x$  a  $y$  je dán LCD displejem a výška závisí na ose  $z$ .

Velikost LCD displeje je dána úhlopříčkou. Ta se udává v palcích. Jelikož displeje mají široké použití, jejich úhlopříčka často přesahuje 20“. Konkrétní rozměr závisí na výrobcí. Například tiskárna Phrozen Sonic Mini je stavěna na LCD displej s úhlopříčkou 6,1“ [8], podíváme-li se ovšem do katalogu českého výrobce displejů IPC2U s.r.o., nalezneme nejbližší hodnotu 6,5“. [28]

Norma zabývající se ergonomií pracoviště pro práci v sedě a ve stoje se značí ČSN EN ISO 14738 (833505) Bezpečnost strojních zařízení - Antropometrické požadavky na uspořádání pracovního místa u strojního zařízení. *Tato mezinárodní norma stanoví zásady pro odvozování rozměrů z antropometrických měření a jejich aplikace v uspořádání pracovních míst u stacionárních strojních zařízení. Je založena na současných ergonomických poznatcích a antropometrických měřeních. Specifikuje prostorové požadavky pro obsluhu zařízení při běžném provozu a pro polohy vsedě a vstoje. Tato mezinárodní norma byla zpracována jako harmonizovaná norma ve smyslu Směrnice pro strojní zařízení a přidružených předpisů ESVO.* [29]

Při návrhu se musí zvážit umístění ovladače v závislosti na rozměrech člověka. Tiskárna se umísťuje na pracovní linku nebo stůl, který by měl být přiblížený výšce manipulační roviny v sedě, tedy 65 cm až 70 cm. Způsob umístění ovladače na tiskárně ovlivní úhel svírající osu od oka k ovladači a horizontálu. Ten by měl být ve stoje  $30^\circ \pm 10^\circ$ . [30]



Obr. 3-1 Optimální zorný úhel [30]

Při návrhu tiskárny je také třeba zvážit přídavné funkce. Vstup dat do tiskáren se řeší převážně přes USB. Existují zde také možnosti wifi nebo ethernetu, což může být žádoucí při přenosu více dat.

### 3.6 Použité výrobní technologie, možný trh a cena

Pro návrh tiskárny je předpokládána velkosériová výroba. Není tedy vhodné používat časově nákladné technologie, jako jsou například digitální, tedy 3D tisk. Vhodnou metodou může být odlévání do forem, vstřikování, ohýbání apod. [31]

Trup tiskárny je tvořen plochami, proto je výhodnou metodou ohýbání plechů. Plastovou část krytu je možné vyrábět také ohýbáním, dále řezáním a lepením, jiné plastové části mohou být vstřikovány nebo lisovány do forem. Vanička na pryskyřici se dá snadno odlít v případě kovového materiálu, případně lze použít například vstřikování při volbě plastu. Tyč tvořící osu  $z$  je obrobená ocel. [31]

Technologie MSLA 3D tisku není na trhu příliš dlouho, a tak je v nabídce omezené množství produktů. Trh tedy není omezen na určitou oblast ani kontinent.

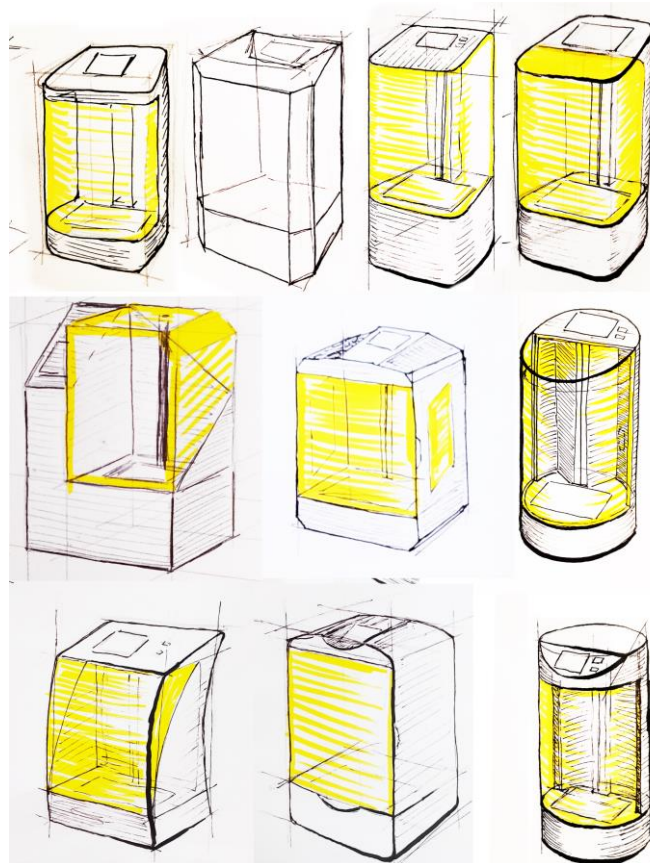
Cenová kategorie je dána mimo rozměry tisku také přidanými funkcemi, jako je například naklápěcí vanička nebo automatická kalibrace. Kalibrace je ovšem snadná i mechanicky a automatizace značně zvyšuje cenu. Návrh tiskárny nebude vzhledem ke zvolené cílové skupině, zahrnující také domácí kutily, nabývat přidaných funkcí a nadbytečné automatizace. Vzhledem k větším rozměrům tisku je předpokládána cena okolo 20 000 Kč až 30 000 Kč.

## 4 VARIANTNÍ STUDIE DESIGNU

Všechny návrhy MSLA tiskárny se odlišují od stávajících produktů především umístěním ovladače. (Obr. 4–1) Ovladač, tedy displej, je umístěn ve většině skic v horní části tak, aby měl mírný sklon od vodorovné polohy a nacházel se v manipulační rovině stojícího člověka. Dále byly zvažovány varianty s otočným displejem v dolní části, což by usnadnilo výrobu z hlediska umístění elektroniky, nebo varianta s ovladačem na straně. Tato řešení ovšem zvětšují půdorys. Ovladač také může být odnímatelný. To znamená komplikovanější technologii, ale uživatelsky nejvhodnější řešení.

Dále návrhy využívají nosnou zadní stěnu pro vyztužení osy z. Při vyztužení osy nemusíme integrovat přídatný mechanismus pro redukci statické síly, aniž bychom ovlivnili kvalitu výtisku. Displej je často napojen na nosnou stěnu, a tak není potřeba další pevné stěny a nabízí se více prostoru pro průhlednou část.

Jednou z možností, jak vyřešit kryt, je využití kružnicové dráhy u válcovité varianty (viz Obr. 4–1, skica vpravo dole). Pokud ovšem upravíme tvar nebo zvětšíme podíl průhledného krytu, toto řešení již není možné použít. Většina návrhů má tedy kryt otevírací.



Obr. 4-1 Průběžné skicy

## 4.1 Varianta I

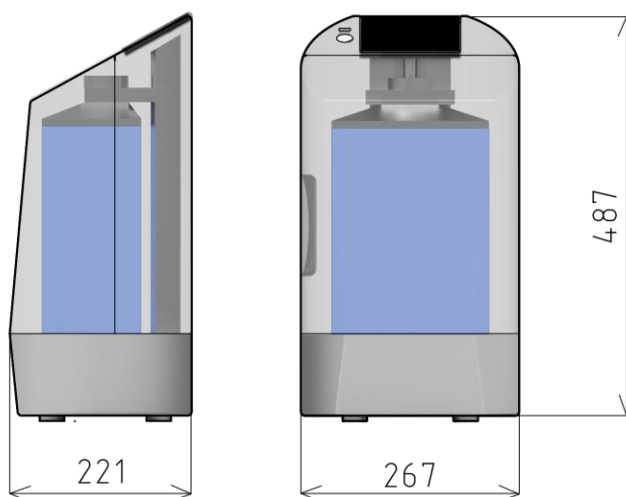
První varianta využívá válcovitého základního tvaru, který je esteticky velmi elegantní.

Při modelování v měřítku na rozměr LCD displeje ( $192 \times 120$ ) mm byl válcovitý tvar upraven prvky seříznutí, aby se zmenšil nadbytečný půdorys. Seříznutí zadní stěny je voleno u všech podvariant rovné, jelikož k zadní stěně je ukotvena osa z. Seříznutí přední části může být pod úhlem, nesmí ale zasahovat do prostoru pro tisk a zároveň velikost úhlu ovlivňuje velikost půdorysu. (Obr. 4-2)



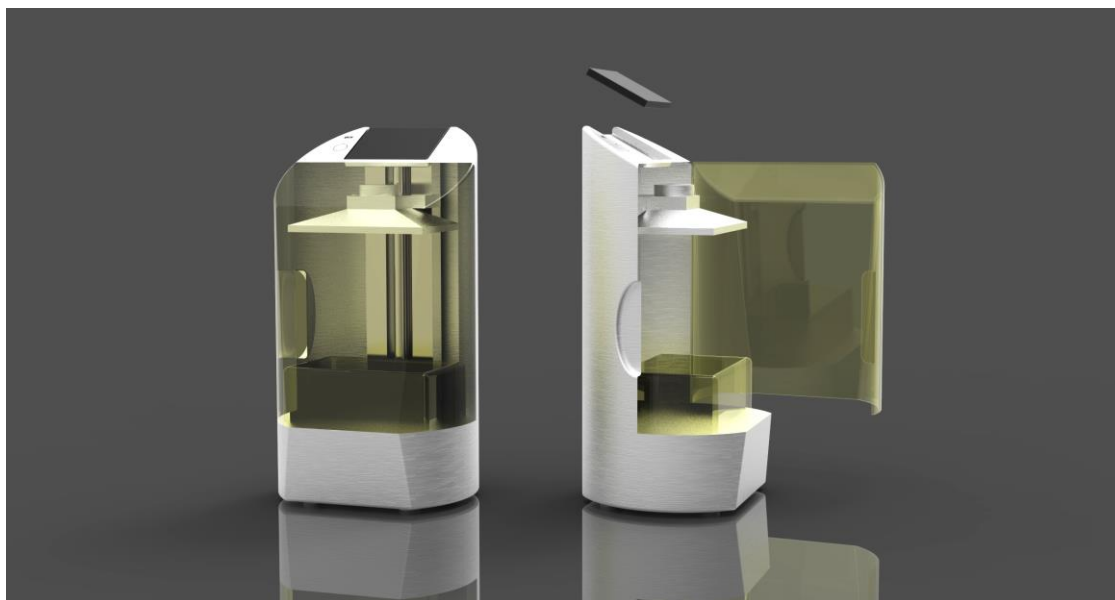
Obr. 4-2 Modifikace varianty I

Varianty mají rozměr prostoru pro tisk ( $192 \times 120 \times 250$ ) mm. Výška tiskárny je ovlivněna velkým sklonem horní stěny s ovladačem. Sklon této plochy je uživatelsky přívětivější na úkor výšky tiskárny. (Obr. 4-3)



Obr. 4-3 Rozměrové řešení varianty I

Výsledný variantní návrh se vyznačuje jednoduchým tvarem, kde má kryt velký podíl zastoupení. Umístění ovladače je zvoleno na horní stěně tiskárny. Nezavazí ve výhledu do tiskárny a kopíruje sklon seříznutí pro přívětivější ovládání. Ovladač je odnímatelný. Zadní a přední stěna je pro zmenšení půdorysu seříznuta. V zadní části je toto seříznutí svislé, aby podpořilo osu z, zatímco v přední části je seříznutí lomené a šikmé, což dodává tiskárně dynamický vzhled a zároveň nenarušuje vnitřní prostor. (Obr. 4–4)



Obr. 4-4 Varianta I

## 4.2 Varianta II

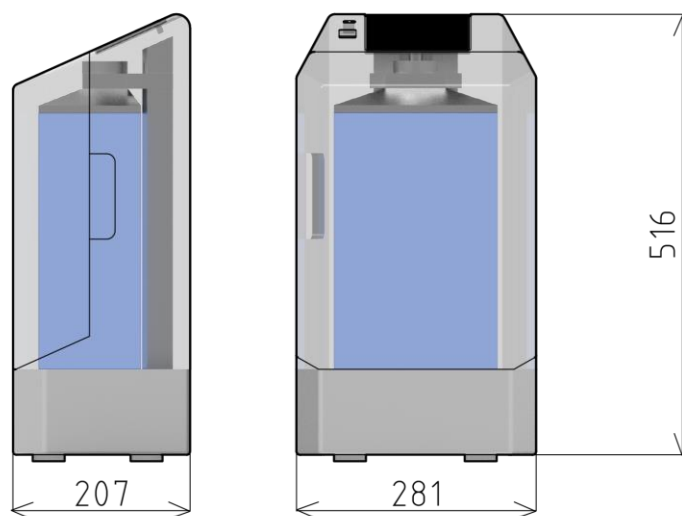
Druhá varianta využívá zužujícího se půdorysu, který vychází z podstaty vnitřní konstrukce. V zadní části tiskárny se nachází osa z, která je mnohem užší než tiskový prostor. Zaoblení, případně zkosení zmenšuje půdorys zejména v přední části a zabraňuje vzniku příliš ostrého úhlu. (Obr. 4–5)



Obr. 4-5 Modifikace varianty II

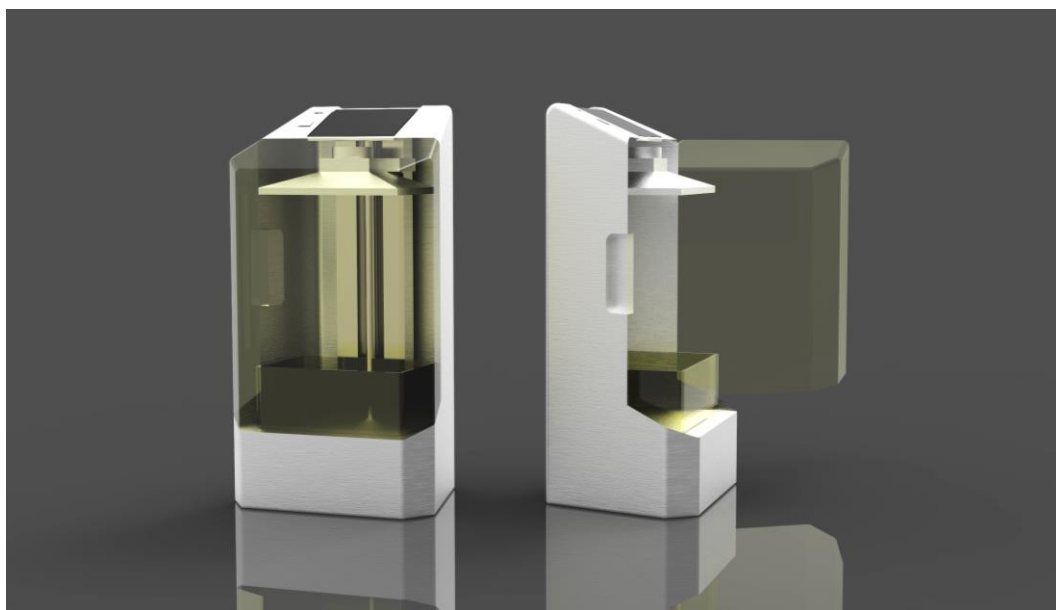


Rozměry tiskového prostoru jsou  $(192 \times 120 \times 300)$  mm. Je tedy použit stejný LCD displej, tiskový prostor je ovšem vyšší. Úhel horní stěny s vodorovnou stěnou je volen menší než v předešlé variantě, jelikož je tiskárna vyšší vlivem rozměru tiskového prostoru. (Obr. 4–6)



Obr. 4-6 Rozměrové řešení varianty II

Výsledné řešení je tvarované geometricky a využívá prvky zkosení. Půdorys je v porovnání s předešlou variantou širší, ale pouze v přední části. Zadní prostor kolem tiskárny se nabízí jako volné místo například pro odkládání lahví na pryskyřici apod. Redukce ostré horní hrany u zadní stěny je zajištěna zaoblením. Zároveň se tak zjednoduší tvar eliminováním počtu hran celého produktu. Tvar krytu částečně kopíruje úhel horní stěny. Ovladač je rovněž odnímatelný. (Obr. 4–7)



Obr. 4-7 Varianta II

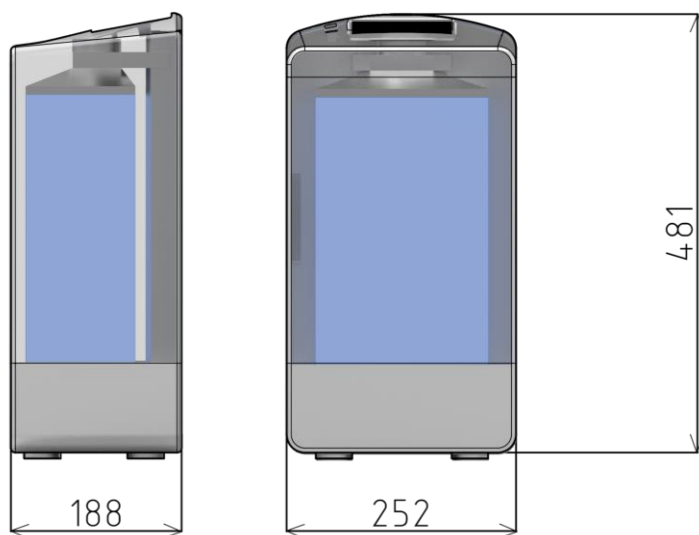
### 4.3 Varianta III

Jednoduchý kvádr se zaoblenými hranami je základem, na němž je postavena třetí varianta. Tato varianta kopíruje konstrukčně daný kvádrový prostor tisku. Tiskárna využívá oblouk v horní části, odvozený od vnitřní konstrukce, kde je středová část ve směru osy z nejvyšší. V prostoru vedle osy z je volný prostor využít pro nádrž na průběžné doplňování pryskyřice. (Obr. 4–8)



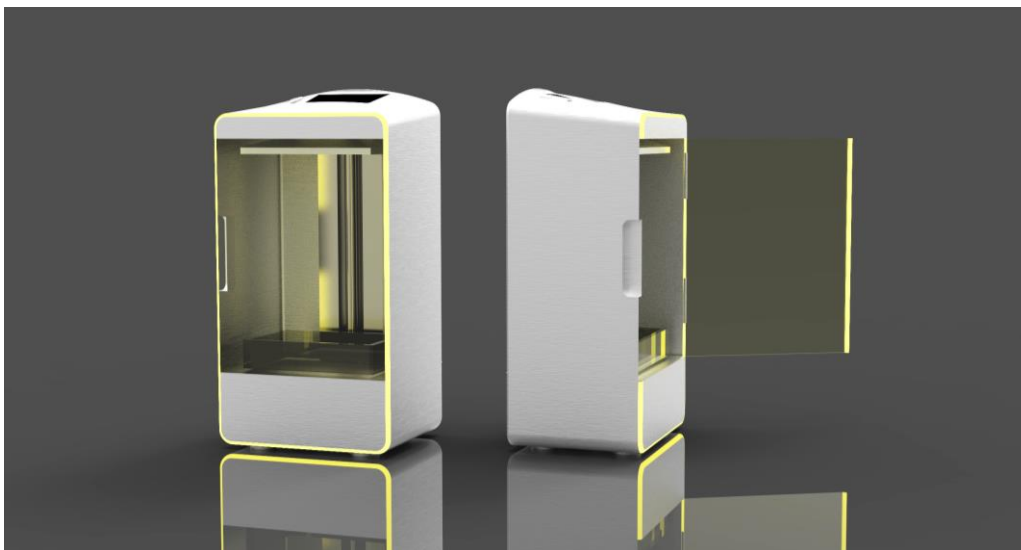
Obr. 4-8 Modifikace varianty III

Tiskový prostor třetí varianty je stejně jako v předešlé dán rozměry ( $192 \times 120 \times 300$ ) mm. Celkové rozměry tiskárny jsou menší především díky kvádrovitému tvaru. Horní stěna má nejmenší úhel sklonu a snižuje tak výšku tiskárny.



Obr. 4-9 Rozměrové řešení varianty III

Výsledný tvar této varianty využívá lemování, které je tvořeno LED pásem. Osvětlení tohoto lemu informuje uživatele o stavu tisku. Ovladač je do tiskárny zanořen v nejvyšším místě horní plochy. Jeho sklon je menší než u předešlých produktů, což může být méně pohodlné pro uživatele nižšího vzrůstu.



Obr. 4-10 Varianta III

## 4.4 Zhodnocení

Všechny tři varianty využívají umístění ovladače v horní části, ovšem vhodné je použití odnímatelného displeje, jak je tomu u varianty I a II. Při volbě sklonu ovladače je třeba dbát na bilanci mezi ergonomií a výškovým rozměrem. Větší úhel od vodorovné plochy je uživatelsky přívětivější.

Třetí varianta zadní část půdorysné plochy využívá pro umístění nádoby na pryskyřici, jež se průběžně doplňuje. Tato funkce je výhodná pro tisk větších součástí, kdy je větší spotřeba pryskyřice. Ovšem tisk je třeba průběžně kontrolovat například kvůli zvlnění modelu vlivem chladnější teploty nebo rovnoběžnosti platformy s LCD displejem. Přidaná funkce tedy není nezbytná a zvedne cenovou kategorii produktu.

Rozměry tiskového prostoru jsou zásadním parametrem MSLA tiskáren. LCD displej, je ve všech variantách stejný, pouze první varianta je nižší. Proto varianta II a III nabízí větší možnosti tisku.

Třetí varianta umožňuje uživateli nahlédnout na proces tisku pouze zepředu. První dvě varianty mají větší podíl průhledné části, což může být výhodou pro větší jas a snazší kontrolu tisku. Větší kryt ovšem zaujímá větší potřebný půdorys v otevřeném stavu.

Nejvhodnější variantou z výše zmíněných tří konceptů je varianta III, a to z hlediska estetiky, konstrukce, i celkových objemů.

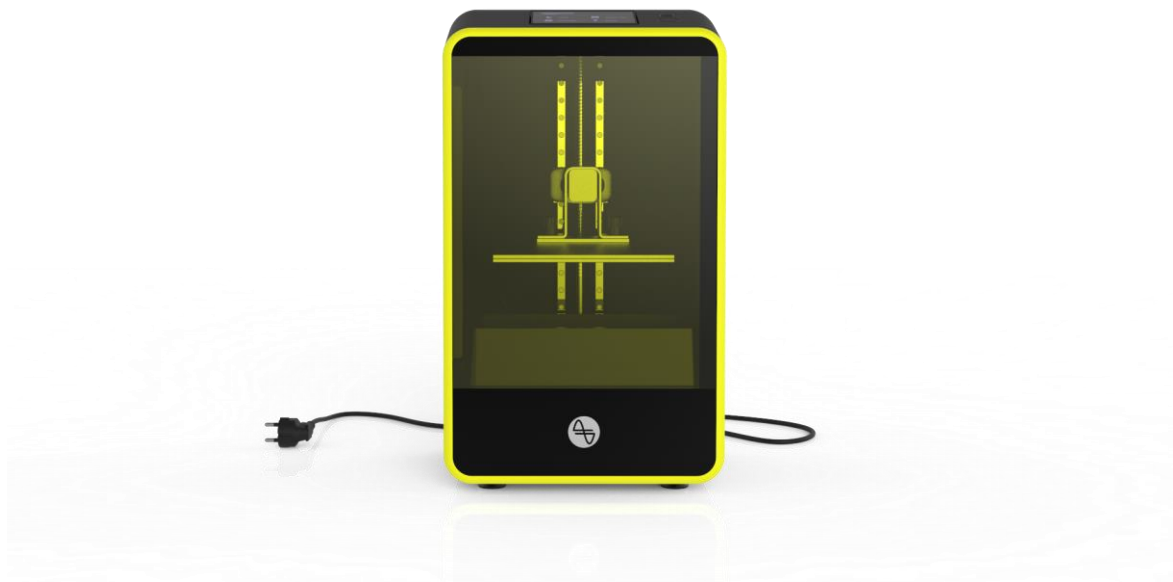
## 5 TVAROVÉ ŘEŠENÍ

Výsledné řešení vychází z variantní studie III. Využívá jednoduchý elegantní obdélník se zaoblenými hranami v přední stěně. Kvádrový základ celého produktu je odvozen z technické podstaty, tedy z kvádrového tiskového prostoru.

### 5.1 Základní tvarování

Produkt je inovativní zejména v konstrukci a uspořádání komponent. Celková koncepce tvarování produktu je jednoduchá a účelná. Návrh je založen na geometrii, jež je zjemněna a ucelena prvky zaoblení.

Celkový design není nadbytečně členitý zejména kvůli hygieně, ale také pro estetické účely. Uspořádání vnitřních komponent je z přední stěny viditelné. Ve vnitřních prostorech se nachází více tvarových prvků, jako platforma, osa z nebo vanička, proto není vhodné nadměrně členit základní tvar. V kontrastu s minimalistickým tvarováním je zde využit prvek lemu, který upozorňuje na produkt. Řešení lemu ovšem podtrhuje jemné tvarování tiskárny. Čelní pohled na tiskárnu, ohraničený výrazným lemem je dominantou produktu.



Obr. 5-1 Tvarové řešení, čelní pohled

## 5.2 Tvarování vnějších prvků

Návrh se od konkurence odlišuje především větším uživatelským komfortem. Umístění ovladače v horní části tiskárny vychází z ergonomických poznatků. Přidaná funkce odnímatelného displeje je výhodou nejen pro běžné uživatele, ale také pro zákazníky spadající svou výškou do skupiny 5. a 95. percentilu. Prostor pro ovladač je zapuštěn do těla tiskárny, aby se příliš nenarušila kompaktnost celého tvaru. (Obr. 5–2)



Obr. 5-2 Tvarové řešení, umístění ovladače

Funkční prvky na tiskárně mají tvar vycházející z dominantního pohledu. Po celém produktu jsou využity pravoúhlé rohy se zaoblenými hranami. Takto tvarován je například prostor pro otevírání krytu či větrací otvory. Stiskací tlačítko je tvarováno kruhové, především kvůli své funkci a také odlišení, protože jeho použití je především nouzové. Tento princip se dále opakuje na tvaru nohou tiskárny a také následně v logotypu. Tvar vnitřních komponent je ovlivněn především funkcí a závislostí na konstrukci, ale prvky zaoblení se zde rovněž opakují.

Větrací otvory jsou spíše grafickou záležitostí, jelikož jde o plošné uplatnění. I zde byl použit motiv zaoblení rohu obdélníku. Obdélník zde není přiznaný po celém obvodu a zaoblení se využívá pouze v diagonální kompozici. Základní tvar je tak technologicky vyrobitelný díky výraznému přerušení obvodu. Rovněž tento prvek působí dynamicky. Uspořádání větracích otvorů je řešeno opakováním základního prvku, kde jsou jednotlivé řádky vůči sobě odsazeny. Tato textura je vepsána do obdélníků po bočních stěnách tiskárny. (Obr. 5–3)



Obr. 5-3 Tvarové řešení, větrací otvory

### 5.3 Tvarování vnitřních komponent

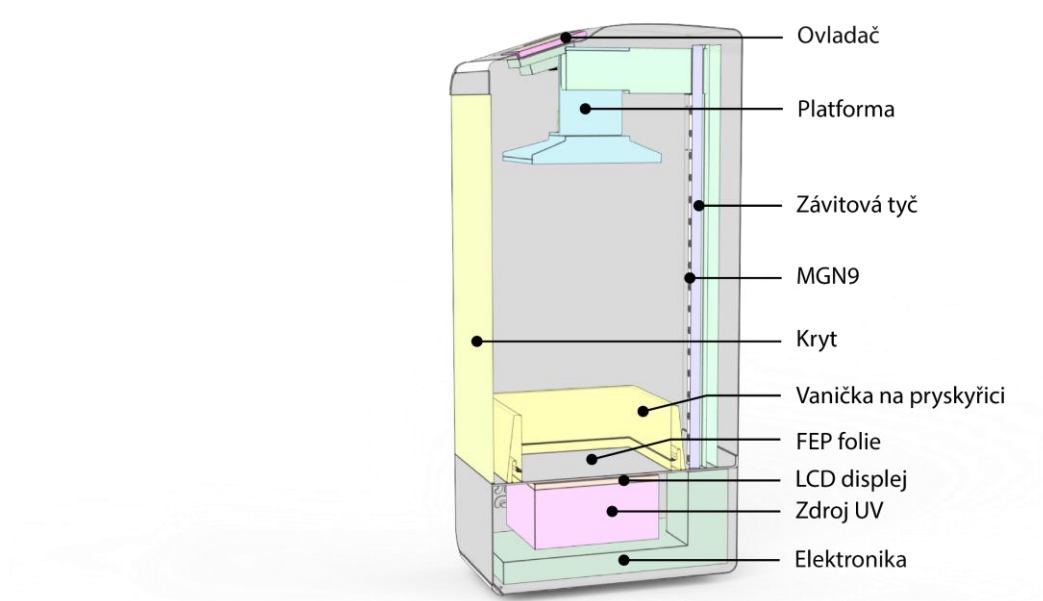
Mezi vnitřní komponenty patří především vanička na pryskyřici a platforma, pohybující se po ose  $z$ . Dále samotná osa  $z$ , složená z obrobené závitové tyče a vodících drah, nádoba na průběžné doplňování pryskyřice, a také mechanismy napojení jednotlivých komponent. Při tvarovém řešení těchto komponent není příliš možností, jelikož se jedná o důležité konstrukční prvky. Základní princip zaoblení se uplatňuje tam, kde je to z funkčního hlediska možné, tedy například vnější radius vaničky na pryskyřici, způsob uchycení platformy a tvar stiskacích tlačítek.

## 6 KONSTRUKČNĚ-TECHNOLOGICKÉ A ERGONOMICKÉ ŘEŠENÍ

Jak již bylo zmíněno, tvarování produktu se odvíjí od uspořádání vnitřních komponent. Jednotlivé komponenty pak svým tvarem vychází z funkce. Tyto aspekty jsou popsány v následujících podkapitolách.

### 6.1 Popis

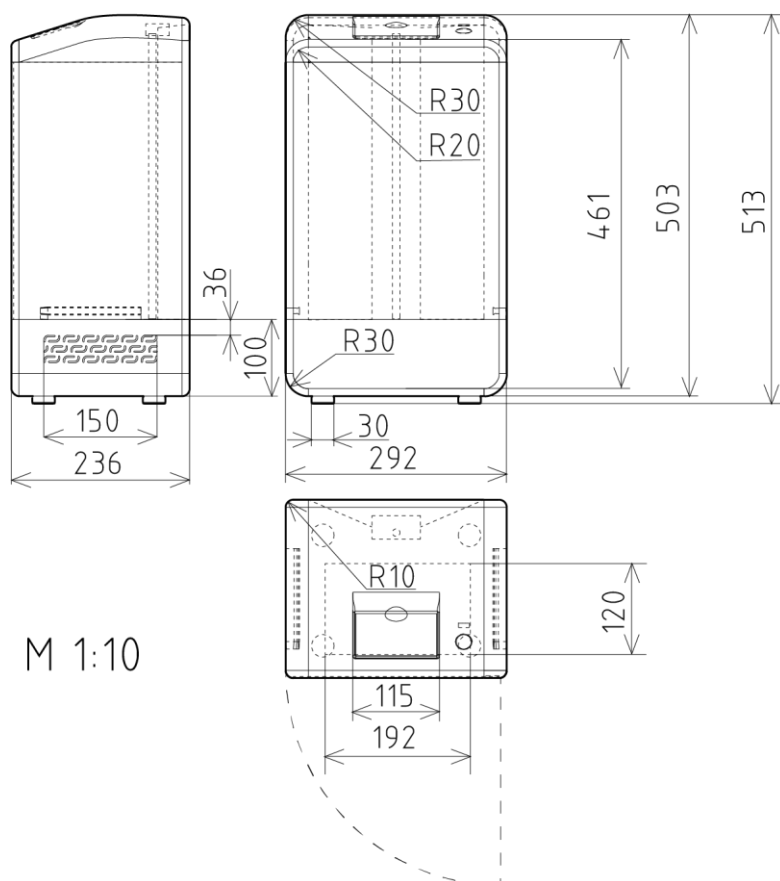
Celkový tvar a rozměr produktu je odvozen od tiskového rozměru a dále rozměru vnitřních komponent. V dolní části tiskárny je prostor pro zdroj UV záření, základní desku s elektronikou a LCD displej. Nad tiskovým prostorem je přidán prostor pro platformu v nejvyšší poloze. Šířka a hloubka tiskárny je zvětšena od tiskového prostoru o hmotu vaničky na pryskyřici, včetně drah pro zasouvání a dále o osu  $z$  v zadní části tiskárny.



Obr. 6-1 Konstrukčně-technologické řešení

## 6.2 Rozměrové řešení

Celkové rozměry tiskárny jsou postaveny na tiskovém prostoru. Tiskový prostor je zvolen v rozměrech  $(192 \times 120 \times 280)$  mm. Celkový produkt je půdorysně větší o prostor vaničky, jejího mechanismu a osy z. Výšku produktu ovlivňuje zejména prostor s elektronikou, zdrojem UV záření a LCD displejem, a také výška platformy. Celkový produkt je pak definován hlavními rozměry  $(292 \times 236 \times 513)$  mm.



Obr. 6-2 Rozměrové řešení v milimetrech

## 6.3 Vnitřní mechanismy a komponenty

Ovladačem je dotykový displej. Poměr stran displeje je zvolen 16 : 9 s orientací na šířku. Úchop je podobný úchopu mobilních telefonů. Uživatel může držet ovladač jednou rukou nebo oběma (viz 6.6 Ergonomie). Ovladač je zarovnán na střed horní stěny produktu. Je odnímatelný, a umožňuje tak uživateli pohodlnou manipulaci. Nabíjení je zajištěno indukci.

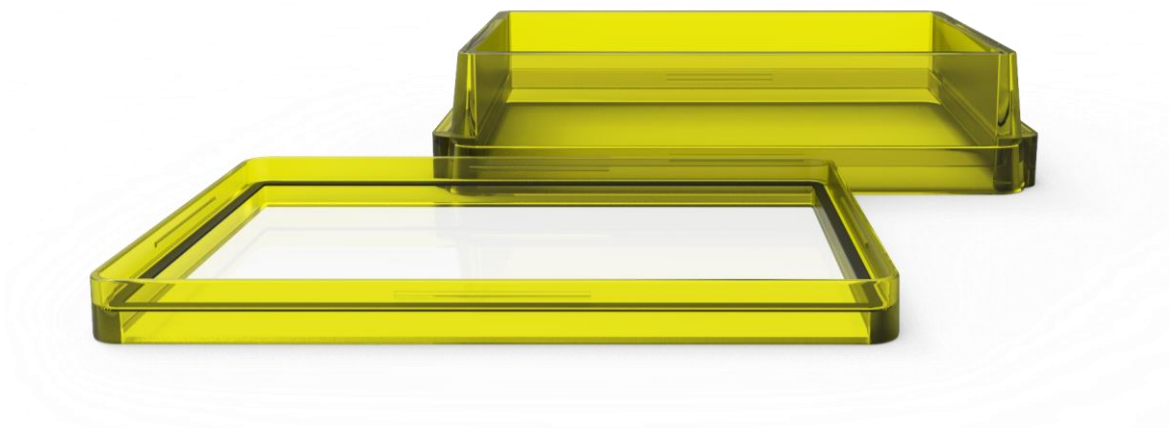


Vedle ovladače je umístěn USB port, jelikož je používán častěji a musí k němu být snadný přístup. Pod tímto portem je umístěno tlačítko sloužící k pozastavení tisku v případě chyby. Pozastavit tisk lze i dotykovým displejem, ovšem pokud by došlo například ke špatné kalibraci platformy a hrozilo by poškození LCD maskovacího displeje, je pohodovější stisknout tlačítko. Delším podržením tlačítka se tiskárna uvede do nečinného režimu.



Obr. 6-3 Umístění ovladače a portů

Vanička na pryskyřici je řešena dvěma díly. Vnější díl obsahuje tvarový prvek s funkcí drážky pro umístění do tiskárny. Ve vnitřním dílu je napnuta FEP folie a rovněž těsnění, aby pryskyřice neprotékala mezi těmito dvěma díly. Celý vnitřní díl je vyměnitelný. Uživatel tedy nemusí napínat FEP folii, pouze si koupí vnitřní díl. Oba díly jsou do sebe umístěny pomocí tvarových výčnělků, jež do sebe zapadnou. (Obr. 6–4)



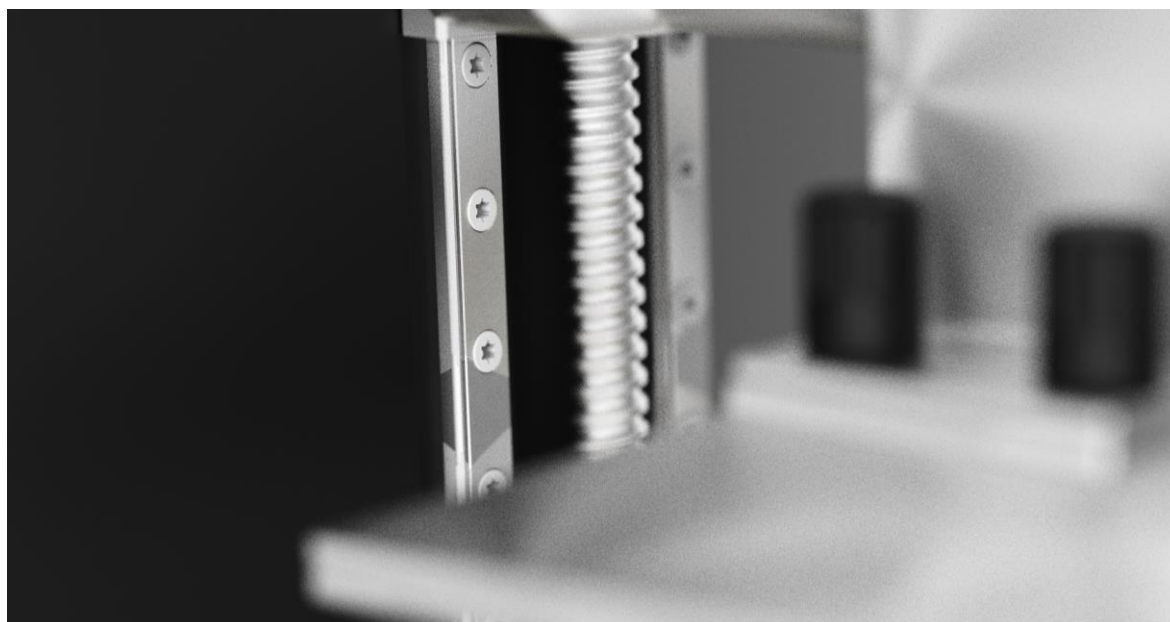
Obr. 6-4 Vanička na pryskyřici

Platforma obsahuje magnetickou konstrukční desku, která umožní snazší sejmutí vytištěného modelu z tiskárny. Pokud uživatel potřebuje tisknout přímo na platformě, nebo je třeba platformu vyjmout a pro vyčištění, platforma se uvolní pomocí stiskacích tlačítek po obou stranách. Kalibrace platformy se provádí ručně, pomocí čtyř otočných knoflíků. (Obr. 6–5)



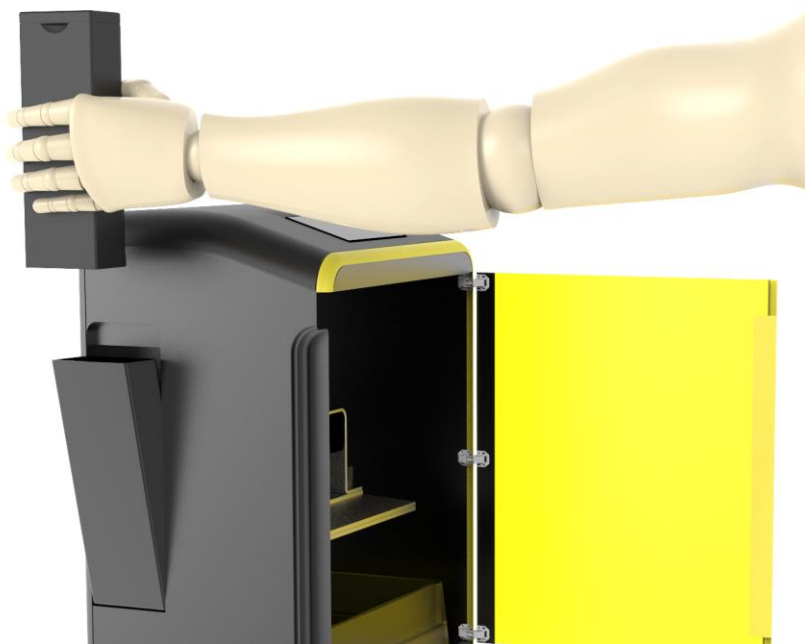
Obr. 6-5 Platforma

Osa z je řešena závitovou tyčí s dvěma podpůrnými drahami. Tyto dráhy jsou zvoleny jako posuvná ložiska MGN9, s vozíčkem MGN9c. Tato ložiska mají únosnost 1900 N. Uložení těchto ložisek je zpevněno pomocnou stěnou. Osa je tedy nosná a nedochází zde k elastické deformaci při odlepování vrstvy z FEP folie, která by měla vliv na kvalitu výtisku. [32]



Obr. 6-6 Osa z

Průběžné doplňování pryskyřice je voleno jako nadstavba. Uživatel si při koupi produktu vybere mezi tiskárnou bez průběžného doplňování nebo s doplňováním, které zvýší cenu tiskárny. Nádobu na průběžné doplňování je umístěna pouze z jedné strany, jelikož na opačné straně vedle osy z je vedena elektronika k prostoru pro ovladač. Její půdorys má z vnitřní strany větší zaoblení, aby uživatel nemohl nádobu umístit opačně. Doplňování probíhá na základě analýzy ze senzoru hladiny. Regulace průtoku pryskyřice je řízena elektromagnetickým solenoidovým ventilem.



Obr. 6-7 Nádobu na pryskyřici

Při řešení vaničky a platformy je třeba počítat s objemem pryskyřice, který vanička pojme, při plně ponořené platformě. Vanička má objem maximálně 1,18 l, aby nedošlo ke zvýšení hladiny nad úroveň vaničky. Vanička je tedy pro běžné modely dostatečně veliká, ovšem tiskneme-li model vymezený maximálním tiskovým prostorem, který je  $(192 \times 120 \times 280)$  mm, může objem tištěného modelu přesáhnout 3 l. Nádobu na doplňování pryskyřice má objem 0,5 l.

Tělo tiskárny ve spodní části obsahuje základní desku s elektronikou, zdroj UV záření se soustavou parabolických zrcadel a dále maskovací LCD displej s rozměry  $(192 \times 120)$  mm disponující rozlišením 4K. Pro zdroj energie je v zadní části umístěn síťový napájecí konektor IEC s vypínačem. Současně je zde umístěný slot pro ethernetový kabel, sloužící k rychlejšímu přenosu větších souborů.

Standartně probíhá import souborů přes wifi, případně přes flashdisk pomocí USB slotu, který je umístěn na horní stěně. Ethernetový modul je vedle IEC konektoru z důvodu sdružení kabelových výstupů. Jeho zapojení se běžně provádí při první instalaci tiskárny a dále se s ním nemanipuluje. USB slouží především pro flashdisky, které se často vysunují, a je třeba je mít blíže uživateli.



Obr. 6-8 Připojení k elektrické síti

Tiskárna má nastavitelné nohy pro případ vyrovnání roviny, pokud není podložka, na které je podložena ideálně vodorovná. Nohy se nastavují pomocí závitů. Uživatel s nohou otáčí a tím mění její vzdálenost od samotného těla tiskárny. (Obr 6–9)



Obr. 6-9 Nohy tiskárny

## 6.4 Materiálové řešení

Konstrukce tiskárny požaduje především korozní odolnost, jelikož se ve vnitřních prostorech vytvrzuje tekutá pryskyřice pomocí UV záření. Na hmotnost zde nejsou kladeny příliš velké nároky, jelikož se tiskárna často nepřenáší, ale je umístěna na pracovním stole.

Vnější plechování je voleno z hliníkového materiálu EN AW 1050A (Al99,5). Jde o slitinu hliníku, která je běžně používaná, je dobře svařitelná, má vysokou odolnost vůči korozi, má ovšem nižší pevnost. Mezi pevnější běžně používané slitiny hliníku patří například dural, tedy slitiny s mědí, například EN AW-2007 AlCu4MgMn, ovšem tento materiál má nižší korozní odolnost, což by v kombinaci s výpary z pryskyřice mohlo snížit životnost materiálu. [33]

Pro zvýšení odolnosti vůči korozi a dosažení estetického vzhledu je zde zvolena povrchová úprava pomocí práškového lakování. Tato povrchová úprava umožňuje širokou škálu barev a lze použít na libovolnou hliníkovou slitinu, oproti metodě eloxování, která spočívá na principu anodické oxidace. [33]

Horní stěna produktu je plastová, jelikož jde o komplikovanější tvarování a plastové materiály jsou více variabilní. Zvoleným materiálem je ABS plast. Při manipulaci s ovladačem zde dochází ke kontaktu s uživatelem a ABS plast je zdravotně nezávadný.

Kryt je rovněž plastový, ovšem materiál musí být průhledný, ale UV nepropustný. Z toho důvodu je třeba zvolit materiál s UV filtrem. Můžeme použít například desky Fluorescent nebo GS, z řady Plexiglas německého výrobce Evonik, které mají hladký povrch a propouští velké množství světla. Desky běžně nemají UV filtr, proto je třeba jej opatřit. [34]

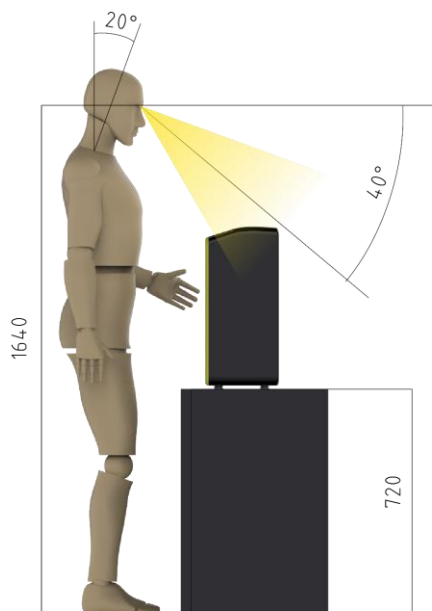
## 6.5 Technologie

Signifikantní technologií výroby u produktu je ohýbání hliníkových plechů. Jelikož se jedná o tenké plechy, jejich spoje mohou být svařené, ovšem pro možné rozebrání v případě problému jsou voleny šroubové spoje. Plechy jsou umístěny na svařené ocelové rámové konstrukci.

Jelikož se předpokládá velkosériová výroba, pro výrobu horní stěny je zvolena metoda vstřikování do formy. Tato metoda má výhodu v přesnosti. Plastová část krytu je vyřezána z desky. Vanička na pryskyřici je rovněž vyrobena pomocí vstřikování.

## 6.6 Ergonomie

Zásadním komponentem tiskárny z pohledu uživatele je ovladač. Jeho používání zasahuje řádově do jednotek minut. Tvarování samotného ovladače je jednoduché, plošné. Úchop je podobný jako u telefonu, pouze s orientací na šířku. Pokud ovladač není odejmut, jeho umístění v tiskárně má uživatel ve výšce 471 mm od podložky.



Obr. 6-10 Zorný úhel stojící postavy



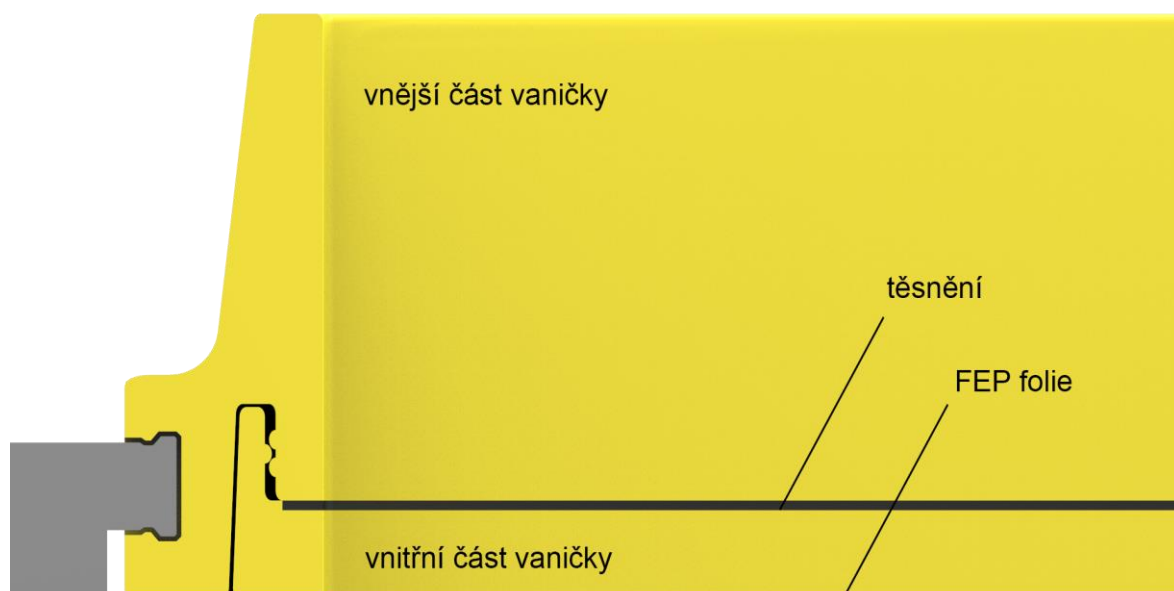
Obr. 6-11 Úchop ovladače oběma rukama

Prostor pro otevření krytu je zvolen po téměř celé šířce krytu, aby uživatel nemusel hledat úchop, a výšku uchopení si přizpůsobil svým potřebám. Prostor pro prsty je široký 20 mm, hluboký také 20 mm. Kryt je usazen na pantech s písky a jejich manipulace nevyžaduje nadměrnou sílu. (Obr. 6–12)



Obr. 6-12 Otevírání krytu

Umístění vaničky je řešeno pomocí zasouvání do drážky po obou stranách. V porovnání se současnými produkty tedy uživatel nemusí vaničku k tiskárně šroubovat pro upevnění.

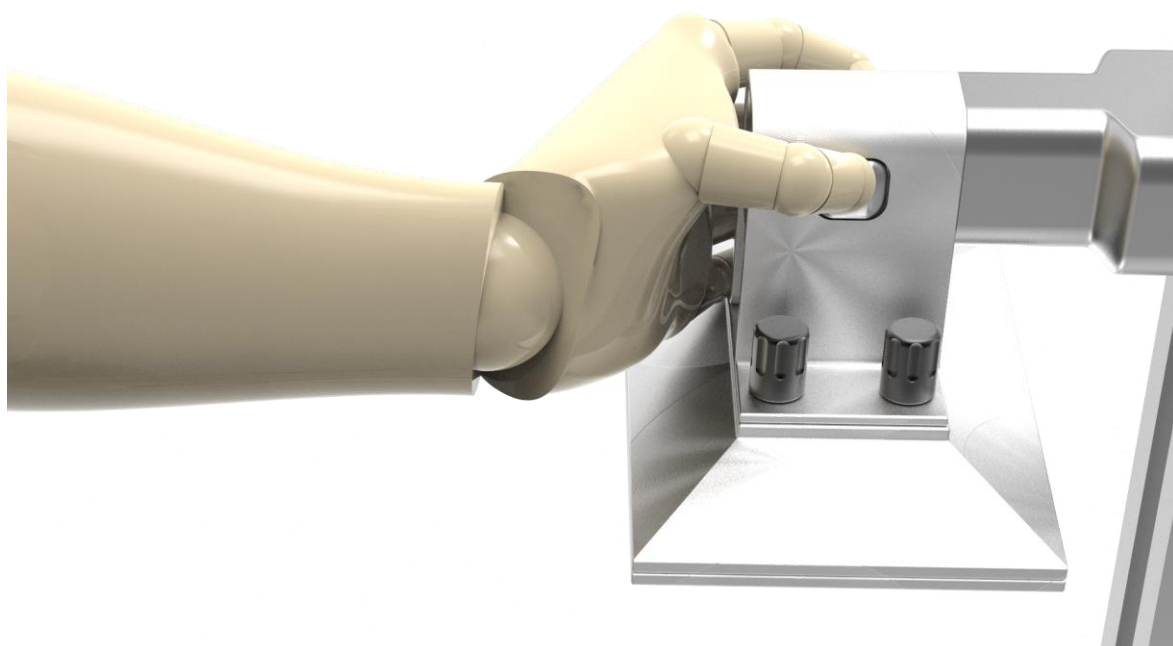


Obr. 6-13 Řez vaničkou na pryskyřici s upevněním k tiskárně

Odnímání platformy je řešeno pomocí dvou stiskacích tlačítek. Pro kalibraci platformy jsou nutné čtyři závity, aby se srovnala rovina konstrukční desky s LCD displejem. Tyto závity se utahují pomocí otočných knoflíků, které se uchopují zpravidla třemi prsty.



Obr. 6-14 Odnímání platformy



Obr. 6-15 Odnímání platformy, detail



## 6.7 Bezpečnost a hygiena

Jedním z velkých problémů MSLA 3D tiskárny jsou výpary z pryskyřice. Tento jev se dá mírně redukovat uhlíkovými filtry v části větracích otvorů. I přesto je potřeba mít tiskárnu uloženou v dobře větratelné místnosti mimo běžné obývaní.

Celkové tvarování je jednoduché a málo členité, aby se při případném potřísnění pryskyřice nedostala do vnitřních prostor, a také pro snadné vyčištění. Pokud by se stalo, že pryskyřice zateče do prostoru s elektronikou, dojde ke zničení. Ovladač je umístěn v horní části tak, aby se omezilo riziko potřísnění. Dalším problémem je vytvrzení pryskyřice při nedůkladné hygieně. Pokud zůstane pryskyřice vystavena dennímu světlu týdnů až měsíců, pak polymerizuje a nelze ji snadno odstranit.

Další složkou, která zde figuruje je vnější UV záření. Zde je důležité mít UV nepropustný plast v krytové části. Takový materiál je volen pro zabránění vniku UV záření, jež je složkou denního světla. Toto je faktor, který ovlivňuje hygienu uvnitř tiskárny. Pokud by se pryskyřice vytvrdila v oblasti tvarových prvků pro uložení vaničky, mohla by se tím zredukovat vůle a vanička by nešla uložit do tiskárny.

## 6.8 Udržitelnost

Většina opláštění produktu je plechová, proto má tiskárna vysokou životnost. Plastové části tiskárny, tedy horní stěna s ovladačem a kryt, jsou konstruovány tak, aby jejich životnost byla v řádech let až desítek let. Plastové části jsou ovšem na poničení náchylnější, a proto je zde možnost dokoupení na náhradní díly. Prvek lemu je rovněž plastový, neplní ovšem konstrukční funkci, pouze zakrývá spoje, není tedy příliš namáhán. ABS plast je recyklovatelný.

Nejčastějším problémem u komponentů tiskárny je poničení FEP folie, která je namáhána při odlepování jednotlivých vrstev. Folie musí být ale také snadno vyměnitelná. Aby se dosáhlo kompromisu mezi uživatelskou přívětivostí a ekonomikou, je FEP folie umístěna v rámu vaničky, který je odnímatelný. Uživatel nemusí folii napínat do vaničky, jelikož je v rámu již napnutá. Zabráni se tak nedostatečnému vypnutí folie uživatelem. Větší část vaničky je oddělena od rámu z FEP folií, aby uživatel nemusel vyměňovat celou vaničku kvůli poškození FEP folie.

## 7 BAREVNÉ A GRAFICKÉ ŘEŠENÍ

Produkt, tedy MSLA 3D tiskárna, je populárním zařízením, které poutá pozornost. Umísťuje se zejména do laboratoří a pracovních místností, a to především kvůli své funkci a také zápachu při vytvrzování pryskyřice. Barevné řešení tedy nemá příliš omezení a může být zvoleno výrazně a atraktivně.

### 7.1 Barevné řešení

Barevnost základního těla je volena černá především z důvodu hygieny. Může dojít k potřísnění pryskyřicí, a proto není vhodné volit světlé odstíny. Použitou černou je barva RAL 9005 matná, která je z hlediska hygieny výhodnější. Další výhodou tmavé barvy je optické zmenšení produktu. Černá barva je rovněž u elektronických zařízení poměrně častou záležitostí a je tedy pravděpodobnější, že bude základní barevnost sjednocena s dalšími zařízeními v souvislosti s 3D tiskem.



Obr. 7-1 Barevné varianty

Zvažované varianty doplňkové barvy byly odstíny sírové žluté (RAL 1016), zelenožluté (RAL 6018), oranžové pravé (RAL 2004) a dále luminiscenční odstíny, například luminiscenční žlutá (RAL 1026). Všechny zmíněné odstíny patří do vzorníku barev RAL Classic. Barvy jsou pestré, liší se tónem, ovšem všechny mají vysokou sytost. Sírová žlutá má vyšší světlost, oproti zelenožluté a pravé oranžové. Tento aspekt je výhodou, jelikož tak dochází k většímu kontrastu s černou, a také větší světlost zaručí lepší průhled do tiskárny skrze kryt. Odstíny luminiscenčních barev nejsou tisknutelné, proto nejsou zobrazeny na následujícím obrázku. (Obr. 7–2)



Obr. 7-2 Barevné varianty doplňkové barvy

Pro vyniknutí lemu je jako hlavní doplňková barva použita sírová žlutá (RAL 1016). Tento odstín je výrazný, sytý a má velký rozdíl ve světlosti od základní barvy. Produkt tak poutá pozornost svou doplňkovou barvou. Tento odstín je pro svou výraznost použit pouze u lemování přední stěny, dále stiskacího tlačítka na horní stěně, které slouží k pozastavení tisku v případě problému, například chybné kalibrace platformy, kdy hrozí promáčknutí LCD displeje, a také u průhledného plastového materiálu. Zde díky průhlednosti dostávají vnitřní komponenty tiskárny pouze barevný nádech doplňkové barvy.



Obr. 7-3 Finální barevné řešení

Žlutá barva má řadu pozitivních asociací, jako například radost, intelekt nebo záření. Dále se se žlutou barvou mohou pojít pojmy patřící spíše k oranžové barvě, tedy energie, aktivita, radost ze života apod. Negativní asociace spojené se žlutou jsou povrchnost a závist. Ovšem tyto asociace nebyly podle průzkumu Tomáše Chorého prokázány. Černá barva dle výzkumu evokuje důstojnost a nezdolnost. V nevhodném měřítku by mohla znamenat strach či smrt. U elektronických produktů ovšem takovéto asociace nepředpokládáme, jelikož se jedná o nejběžnější barvu. [35]

Barevná kombinace žluté a černé je užívána v souvislosti s výstražným znamením, nebo nebezpečím. Tak je tomu i v přírodě, například zbarvení včel, vos apod. Psychologicky tedy tato barevná kombinace zaručí zvýšenou pozornost. Tento efekt je u daného produktu žádoucí. V současnosti je MSLA tisk pokročilou technologií, která je výhodou každého designéra. Užívání pokročilých technologií je jistou známkou kvality a cílová skupina na produkt ráda upozorní.

Další barevné řešení se objevuje na ovladači tiskárny. Jeho barevnost byla inspirována komplementární barvou sírové žluté (RAL 1016). Komplementární barva byla vygenerována pomocí funkce Recolor Artwork v editoru vektorové grafiky Adobe Illustrator®, viz obr. 7–4, čtvrtá barva zleva.



Obr. 7-4 Komplementární barvy

## 7.2 Grafické řešení

Tiskárna obsahuje grafiku nejen z hlediska logotypu, názvu a následného umístění na produktu. Grafické řešení se zde uplatňuje dále na řešení větracích otvorů, a především na dotykovém displeji ovladače.

### 7.2.1 Ovladač

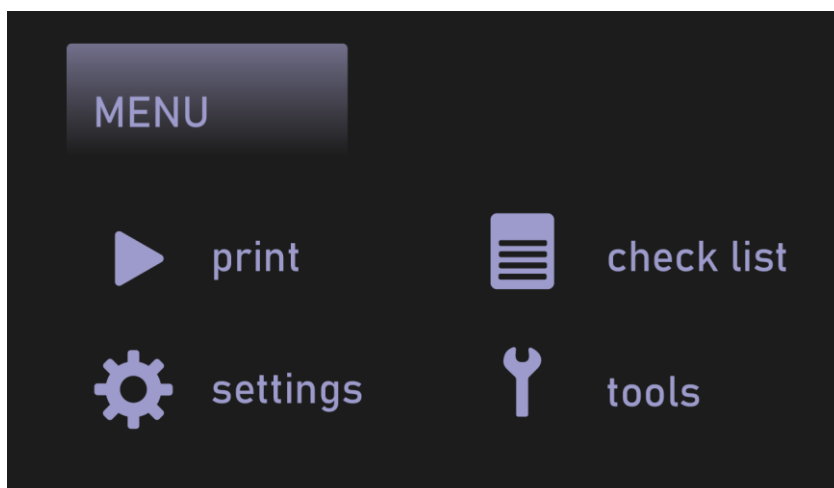
Barevnost ovladače vychází z komplementární barvy k šedé žluté. Jelikož je komplementární modrofialová barva poměrně tmavá a má malý kontrast s černou, byla zpracována řada světlosti tohoto odstínu. Z této řady jsou zvoleny krajní barvy, z důvodu většího kontrastu pro lepší čitelnost. (Obr. 7-5)



Obr. 7-5 Barevné řešení ovladače

Ovladačem MSLA tiskárny je zvolen dotykový displej s poměrem stran 16 : 9. Pomocí ovladače se nastavuje tiskárna před tiskem, vybírají se zde modely k tisku, apod. Zároveň slouží displej i jako sdělovač. Informuje o stavu tisku, například o počtu vrstev nebo předpokládaném zbývajícím čase.

Cílová skupina používá dotykové displeje již běžně, především u mobilních telefonů. Grafika ovladače se tedy odvíjí od všeobecně používaných principů. Úvodní stranou je rozbalovací menu, a dále si uživatel otevírá danou složku s obsahem, kterou si vybere.



Obr. 7-6 Rozbalovací menu ovladače

Při rozbalení některé ze složek z menu se uživateli zobrazí obdobně řešený seznam podsložek, případně informace v podobě textu a obrázků.



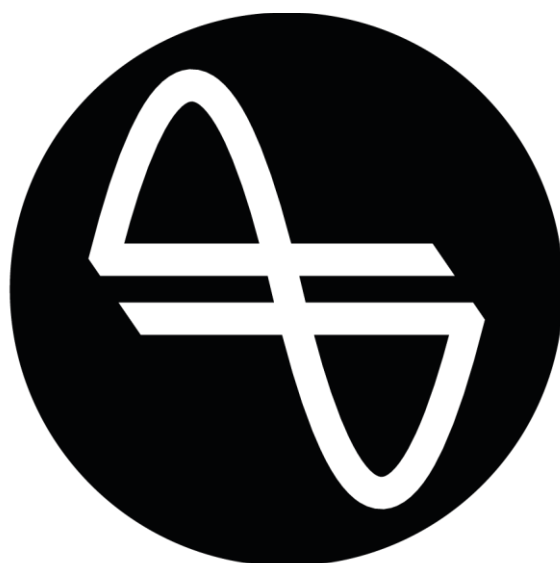
Obr. 7-7 Úchop ovladače jednou rukou



Obr. 7-8 Umístění grafiky na ovladač

### 7.2.2 Logotyp

Návrh loga se zakládá na třech principech. Jelikož je produktem 3D tiskárna, byla zde snaha do značky zakomponovat trojrozměrný prostor. Dalším principem, který se zde kombinuje je vrstvení. Jak již bylo zmíněno v rešerši, tisk probíhá po jednotlivých vrstvách, takovému procesu říkáme Additive Manufacturing. Nejsignifikantnějším prvkem loga je vlnová délka. Tvorba vrstev probíhá vytvrzováním tekuté pryskyřice pomocí UV záření. Záření je charakterizováno určitou vlnovou délkou. Vlnová délka se tradičně znázorňuje jako jedna perioda sinusoidy. Vlnění může rovněž asociovat kapalinu, kterou je u produktu pryskyřice, tedy základní stavební materiál tisku.



l i q u a d d

Obr. 7-9 Návrh logotypu

Ve finálním logu je zakreslena vlnová délka jako celá perioda. Dvě rovnoběžné horizontální linie symbolizují plochu v perspektivě a zároveň tvoří dvě vrstvy nad sebou. Celý znak je v negativu umístěném do kruhu. Negativní obraz znaku může evokovat světlo, které je polymerizačním činidlem.

Vlnová délka způsobuje, že se znak jeví diagonálně. To má za následek dynamiku, která v souvislosti s produktem není příliš žádoucí. Kruhový tvar stabilizuje samotný znak. Současně kruh opticky zdůrazní střed loga a následně umístěný text s logem koresponduje.

Text s logem je vůči sobě zarovnán na střed. Logotyp je tak jasně definovaný. Vzdálenost textu od loga je volena dostatečně veliká, aby logo vyniklo díky volnému prostoru. Zároveň celkový obraz logotypu tvoří pomyslný rovnostranný trojúhelník.

Název produktu, Liquadd, se skládá ze dvou anglických slov, liquid a add. Liquid znamená tekutinu, tedy skupenství stavebního materiálu, z něhož se tiskne. Add je v překladu sloveso přidat. Tento výraz je záměrně vybrán kvůli spojitosti se souslovím Additive Manufacturing.

Produkt je tvarován jednoduše a minimalisticky, proto je voleno bezserifové písmo. Font nese název Inter a je použit v polotučném řezu (medium). Mezi písmeny je volen rozpal, který dodává písmu vzdušnější charakter. Celý text je psán minuskami, aby zachoval jednoduchý čistý vzhled a nedošlo ke kumulaci širokých oblých verzálek, tedy písmene Q a D.



Obr. 7-10 Umístění grafiky na produkt

Pro umístění grafiky na produkt byl zvolen pouze výrazný prvek loga. Celý logotyp s textem není vhodný, jelikož samotná tiskárna obsahuje dominantní prvky a celý logotyp by byl dalším komplexním prvkem v čelním pohledu. Zákazník by tápal čemu nejdříve věnovat pozornost. Značka loga je umístěna v čelním pohledu proto, aby byla v dominantním pohledu a vždy došlo k okamžité spojitosti značky a produktu. Zarovnání je voleno na střed spodní plochy těla tiskárny. Tato kompozice je v souladu s konstrukcí tiskárny a jejích komponent.





Obr. 7-11 Umístění produktu v prostředí

Logo je v přední dolní stěně vygravírováno. Logo nadbytečně nesvítí a kopíruje odlesky s ostatními svislými plochami. Logo působí elegantně, a i přesto na sebe upozorňuje. Jeho kruhový tvar není novým prvkem na tiskárně. Tento tvar nalezneme u stiskacího tlačítka na horní stěně nebo u nohou tiskárny.

## 8 DISKUZE

Návrh MSLA 3D tiskárny a jeho inovace v porovnání se současnými produkty se projevují v řadě aspektů. Navrhnutý design má vliv nejen na uživatele zakoupeného produktu, ale také na výrobce a jeho ekonomiku z hlediska konstrukce a materiálů. Rovněž je třeba zhodnotit pozici na trhu mezi současnými produkty.

### 8.1 Psychologická funkce

Díky výraznému kontrastu celkového černého objemu se sírově žlutým lemem produkt poutá pozornost a utkví potenciálním zákazníkům v paměti. Taktéž se tento výrazný prvek stává symbolem spojeným se značkou produktu. Na trhu tedy navržený produkt MSLA tiskárny nesplyne s konkurencí.

Základní objem je jednoduchý kvádrový. Uživateli je funkce a orientace produktu na první pohled jasná a může si domyslet přibližné rozměry tisku. Lem určuje přední stěnu, ze které je přístup do vnitřních prostor tiskárny. Jednotlivé prvky jsou intuitivní na ovládání. Kryt je snadno otevírací, ovladač je umístěn tak, aby jej uživatel spatřil bez hledání. Vstupní porty pro připojení kabelů jsou na zadní straně, aby kabely nezavazely, a čteně používaný USB port je na horní stěně. Porty tedy nejsou sdružené, což je nevýhodou, ovšem toto řešení vyplývá z četnosti užívání a také druhu vstupu.

Povrch tiskárny je tmavý a matný. To zamezí vnímání odlesků a rovněž je tento povrch výhodnější z hlediska hygieny. Nejsou na povrchu tolik viditelné otisky a jiná ušpinění a tiskárna působí na první pohled vždy čistě. Černá barva je elegantní a velké rovné plochy tiskárny opticky zeštíhluje.

Lemování tiskárny je jistou symbolikou produktu. Tiskárna se již na první pohled představuje pod touto značkou. Produkt tímto efektem nabývá dojmu vyšší ceny a kvalitní značky. Nespadá do kategorie levnějších kopií tiskáren.

Volba kombinace barev, jež má v přírodě výstražnou funkci, zaručuje pozornost produktu. Tato pozornost je žádoucí. Už samotný princip technologie MSLA 3D tisku je v současné době atraktivní. Uživatel na produkt upozornit chce, aby podtrhl svůj postoj k technologickým pokrokům a dokázal své kvality a možnosti.

## 8.2 Sociální funkce

Navržený produkt MSLA 3D tiskárny je zaměřený na celosvětový trh. Podíváme-li se na současné produkty na trhu, nalezneme dvě cenové kategorie, které odpovídají kvalitě. Levnější tiskárny, například značka Anycubic, jsou navrženy tak, aby byly technologicky snadno výrobitelné. Vyšší cenová kategorie, například tiskárny společnosti Formlabs nebo českého výrobce Průša, mají prvky, které jsou nadstandardem oproti jiným tiskárnám, a přiřazují těmto technologiím značný vliv na cenu produktu. Navržený produkt MSLA tiskárny má také své odchylky od běžného řešení, ovšem nejsou tak podepsány na výrobní ceně s výjimkou doplňování pryskyřice. Funkce průběžného doplňování pryskyřice je nadstavbou, která je volitelná. Na trh jsou tedy uvedeny dvě varianty s odlišnou cenovou kategorií. Uživatelé odlišných preferencí si tedy mohou zakoupit navržený design podle jejich možností a nároků.

Řešení vnitřních komponent přináší uživateli v porovnání s konkurencí snazší manipulaci a větší komfort. Uživatelé nemusí napínat FEP folii do rámu, vaničku nemusí do těla tiskárny šroubovat, platforma je rovněž odnímatelná jednodušším mechanismem na stisknutí. Uživatel tak ušetří čas při práci s tiskárnou.

Funkce odnímatelného ovladače se na trhu MSLA tiskáren zatím běžně nevyskytuje. Je to ovšem veliké usnadnění uživatelského komfortu. Uživatelské rozhraní je intuitivní, jelikož s obdobnými technologiemi běžně pracujeme, především u mobilních telefonů. Nastavování tisku tak může uživatel například kontrolovat s údaji o modelu v počítači a není vázán k tiskárně. Je-li ovladač umístěn v tiskárně, jeho sklon a umístění zaručí lepší čitelnost v porovnání s konkurenčními produkty.

Ekologický status tiskárny je obdobný jako u konkurenčních produktů na trhu. Většina plechování je hliníková a má tak dlouhou životnost. Plastový vrchní díl je náchylnější na poškození než hliníkové krytí, ovšem z hlediska výroby je plastové řešení výrazně méně nákladné vzhledem k tvarování. V případě poškození je zde možnost recyklace plastových částí, taktéž hliníkových.

Tvarování produktu je minimalistické a jednoduché. Uživatel si produkt nezakoupí jako zajímavý interiérový doplněk, což ovšem není nedostatkem, jelikož produkt tiskárny z bezpečnostních a hygienických důvodů není umísťován do obývacích prostor, pouze do pracovních místností a laboratoří. Troufalá výrazná barevnost by mohla některé zákazníky nebo zákaznice odradit. Ovšem vzhledem k umístění produktu mimo obývací místnosti tato barevnost nepřináší nesourodost, a naopak zaručuje pozornost okolí.

## 8.3 Ekonomická funkce

Tiskárna se svými pořizovacími náklady příliš neliší od běžných MSLA tiskáren téhož rozměru LCD displeje. S LCD displejem o rozměrech (192 × 120) mm se produkt nachází na cenové hranici přes 20 000 Kč. Navržený design nevyužívá příliš nákladné technologie, které by odradili část cílové skupiny, tedy domácí kutili a nadšence 3D tisku, kteří do produktu investují pro svoje osobní potřeby. Taktéž například šperkaři, kteří se zaměřují na tisk menších modelů, nemají potřebu průběžného doplňování, jelikož nedosahují výrazně větší spotřeby pryskyřice. Pro designéry a modeláře z povolání, kteří tiskárnu používají četněji, je zde možnost výběru průběžného doplňování pryskyřice pro ušetření času při práci s tiskárnou na úkor vyšší ceny.

Použité materiály jsou v České republice snadno dostupné a jejich volba tak nadbytečně nezvyšuje cenu. Základní materiály, tedy hliník a ABS plast, nabízí v regionu Brna širokou nabídku dodavatelů a výrobců.

Zásadní vliv na cenu výrobku má již zmíněný LCD displej. Jeho rozměry jsou voleny tradičně, viz výše. Rozměry LCD displeje by mohly být jakéhokoliv obdélníkového, případně čtvercového rozměru, ovšem speciální nároky by mohly výrazně navýšit cenu.

V případě technologických pokroků by dosavadní design produktu neměl být problémem, jelikož respektuje tiskový prostor a zároveň neubírá místo například v zadní části podél osy z. Navržený design využívá jednoduchého principu a dá aplikovat i na další související produkty, například příslušenství pro čištění modelů po tisku, případně monitory, klávesnice apod.

Díky předpokládané sériové výrobě se počítá s výrobními technologiemi jako je vstřikování. Jednalo-li by se o kusovou výrobu, technologie forem by byla nevýhodná a pro organické a členitější komponenty by se nabízela technologie 3D tisku. Ta je ovšem časově náročná. Ohýbání plechů je levnou a snadnou technologií, která má smysl při sériové i kusové výrobě.

## 9 ZÁVĚR

Hlavním cílem bakalářské práce bylo navrhnout MSLA 3D tiskárnu kompaktních rozměrů, jež bude klást důraz na minimální údržbu a zaručí kvalitu tisku. Rozšíření a konkretizování cílů této práce bylo stanoveno až po rešeršní analýze. Během rešerše byly stanoveny problémy, které souvisí s technologií produktu samotného, ale také nedostatky některých současných produktů na trhu. Následně byly tyto body konzultovány, podrobeny další analýze nejen v souvislosti daného typu produktu a byla navržena řešení.

Hlavním aspektem současné produkce je důraz na ekonomiku, tedy jednoduchou výrobu. Upozaděna byla především ergonomie produktu. Problémem v souvislosti s MSLA tiskem je také materiál, z něhož se tiskne. Pryskyřice má nízkou viskozitu a snadno zateče do prostorů s vůlí. Zde je třeba správně uspořádat elektroniku, aby nedošlo k jejímu poškození vlivem potřísnění pryskyřice. Dále se setkáváme s problémy jednotlivých komponent a jejich mechanismů.

Výsledné řešení je inovativní zejména v umístění ovladače. Jeho pozice byla navržena s ohledem na ergonomii. Tento záměr je podtržen funkcí odnímání, jež uživatele různých anatomických rozměrů neovlivní. Současně se zamezilo riziku potřísnění ovladače pryskyřicí. Změny v komponentech a jejich uspořádání byly nuceny respektovat současné řešení principu funkce tiskáren na bázi stereolitografie. To především z toho důvodu, že stavebním materiálem je tekutá pryskyřice, jejíž orientace hladiny se nedá ovlivnit. Následný směr vodící osy je ve směru svislé osy z, jako u současných produktů, jelikož je v současné době nejjednodušším řešením. Ovšem změny v jednotlivých komponentech nejsou zanedbatelné. Osa z s vodícími drahami je vyztužena pomocnými stěnami. Platforma je odnímatelná pomocí stiskacích tlačítek a vanička na pryskyřici je umístěna v tiskárně pomocí tvarového prvku na zasunutí. Tímto se omezilo množství šroubů a ušetření času uživatele při manipulaci s tiskárnou. Snadná výměna FEP folie je rovněž uživatelským komfortem v porovnání s konkurencí.

Problémem, který u produktu stále přetrvává, je řešení jednotlivých nedostatků novým mechanismem, který zvyšuje cenu produktu. Tento jev můžeme nalézt u zatížení na ose z, kterému se dá zamezit například naklápěcí vaničkou, ovšem na úkor vyšší cenové kategorie. Z tohoto důvodu byla v této práci zvolena výztuha osy. Toto řešení znamená více materiálu, ale stále ekonomicky výhodnější. Dalším prvkem, kde nastává zmíněný problém je doplňování pryskyřice. V našem případě je možnost volby podle preference uživatele. Toto řešení sebou nese zvýšení výrobních nákladů z důvodu dvou řešení.

Celkový návrh tedy staví na dosavadní konstrukci MSLA 3D tiskárny, ale i přesto přináší řadu nových řešení. Esteticky je jednoduchý tvarem, ale zaujme barevností. Tímto bylo dodrženo hygienických pravidel a zároveň dosaženo poutavosti produktu.

## 10 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. CHENG, George, Erik FOLCH, Adam WILSON, et al. 3D Printing and Personalized Airway Stents. *Pulmonary Therapy* [online]. Cheshire: Springer Healthcare, 2017, **3**(1), 59-66 [cit. 2021-5-15]. ISSN 2364-1754. Dostupné z: doi:10.1007/s41030-016-0026-y
2. SAVINI, A a G. G SAVINI. A short history of 3D printing, a technological revolution just started. In: *2015 ICOHTEC/IEEE International History of High-Technologies and their Socio-Cultural Contexts Conference (HISTELCON)* [online]. IEEE, 2015, s. 1-8 [cit. 2021-02-04]. Dostupné z: doi:10.1109/HISTELCON.2015.7307314.
3. GEBHARDT, Andreas, Julia KESSLER a Laura THURN. *3D printing: understanding additive manufacturing*. 2nd edition. Munich: Cincinnati: Hanser Publishers ; Hanser Publications, 2019, XVI, s. 170 : ilustrace ; 24 cm. ISBN 978-1-56990-702-3.
4. ELEGOO Mars Pro LCD 3D Printer. *Elegoo.com* [online]. Shenzhen (China): ELEGOO, ©2021 [cit. 2021-02-04]. Dostupné z: <https://www.elegoo.com/collections/mars-series/products/elegoo-mars-pro-lcd-3d-printer>
5. PRŮŠA, Josef. Introducing Original Prusa SL1 – Open Source SLA 3D Printer by Josef Prusa. *PrusaPrinters* [online]. Prague: Prusa Research, ©2021, 22. 9. 2018 [cit. 2021-02-04]. Dostupné z: [https://blog.prusaprinters.org/introducing-original-prusa-sl1-open-source-sla-3d-printer-by-josef-prusa\\_8844/#\\_ga=2.168093345.1262674114.1612259016-620481847.1612259016&\\_gac=1.218284523.1612269237.CjwKCAiAjeSABhAPEiwAqfxURZb1XXkwAWiFn\\_nExThkNnWAL5C1J6i9Glmww9M6OT19MWf\\_1L-P4xoCeEMQAvD\\_BwE](https://blog.prusaprinters.org/introducing-original-prusa-sl1-open-source-sla-3d-printer-by-josef-prusa_8844/#_ga=2.168093345.1262674114.1612259016-620481847.1612259016&_gac=1.218284523.1612269237.CjwKCAiAjeSABhAPEiwAqfxURZb1XXkwAWiFn_nExThkNnWAL5C1J6i9Glmww9M6OT19MWf_1L-P4xoCeEMQAvD_BwE)
6. Anycubic Photon 3D Printer. *Anycubic* [online]. Shenzhen: ANYCUBIC 3D Printing, ©2021 [cit. 2021-02-04]. Dostupné z: <https://www.anycubic.com/collections/anycubic-photon-3d-printers/products/anycubic-photon-3d-printer>
7. Photon Mono X resin printer. *Anycubic* [online]. Shenzhen: ANYCUBIC 3D Printing, ©2021 [cit. 2021-02-04]. Dostupné z: <https://www.anycubic.com/collections/anycubic-photon-3d-printers/products/photon-mono-x-resin-printer>
8. Sonic Mini 4K. 3D Jake [online]. Paldau: niceshops, © 2010-2021 [cit. 2021-02-20]. Dostupné z: <https://www.3djake.cz/phrozen/sonic-mini-4k>
9. Sonic Mini 4K 3D Printer. *Phrozen3d.com* [online]. Hsinchu City (Taiwan): Phrozen Technology, 2016 [cit. 2021-02-20]. Dostupné z: <https://phrozen3d.com/products/sonic-mini-4k-resin-3d-printer-phrozen#specs>
10. Creality3D LD-001 Desktop LCD 3D Printer. *Creality3D* [online]. Shenzhen: Creality 3D, ©2021 [cit. 2021-02-21]. Dostupné z: <https://creality3d.shop/products/creality3d-ld-001-dlp-light-curing-3d-printer-silver-eu-plug-2>

11. LD-002R LCD RESIN 3D PRINTER. *Crealitiy3D* [online]. Shenzhen: Creality 3D, ©2021 [cit. 2021-02-21]. Dostupné z: <https://www.crealitiy3dofficial.com/products/ld-002r-lcd-resin-3d-printer>
12. Form 2 - SLA 3D printer. *Filament2print* [online]. Pontevedra (Spain): Filament2Print, 2017 [cit. 2021-02-21]. Dostupné z: <https://filament2print.com/gb/resin-sla/cddlp/867-form-2-formlabs-3d-printer.html>
13. Form 2. *Formlabs* [online]. Somerville (Massachusetts): Formlabs, ©2021 [cit. 2021-02-21]. Dostupné z: <https://formlabs.com/3d-printers/form-2/>
14. Formlabs Form 2 SLA 3D Printer Starter Kit. *Shop3D* [online]. Mississauga: Shop3D.ca, ©2021 [cit. 2021-02-21]. Dostupné z: <https://shop3d.ca/products/form2>
15. Formlabs Stereolithography 3D Printers Tech Specs. *Formlabs* [online]. Somerville (Massachusetts): Formlabs, ©2021 [cit. 2021-02-21]. Dostupné z: <https://formlabs.com/3d-printers/form-3/tech-specs/>
16. Form 3. *Formlabs* [online]. Somerville (Massachusetts): Formlabs, ©2021 [cit. 2021-02-21]. Dostupné z: <https://formlabs.com/3d-printers/form-3/>
17. Phenom by Peopoly. *Peopoly.net* [online]. Hong Kong: Peopoly, ©2021 [cit. 2021-02-21]. Dostupné z: <https://peopoly.net/products/phenom>
18. SLA vs. DLP: Guide to Resin 3D Printers. *Formlabs* [online]. Somerville (Massachusetts): Formlabs, ©2021 [cit. 2021-02-21]. Dostupné z: <https://formlabs.com/blog/resin-3d-printer-comparison-sla-vs-dlp/>
19. Guide to Selective Laser Sintering (SLS) 3D Printing. *Formlabs* [online]. Somerville (Massachusetts): Formlabs, ©2021 [cit. 2021-02-21]. Dostupné z: <https://formlabs.com/blog/what-is-selective-laser-sintering/>
20. 4.4 Cubic Technologies' Laminated Object Manufacturing (LOM™). CHUA, Chee Kai a Kah Fai LEONG. *3D printing and Additive Manufacturing: Principles and Applications*. 4th edition of Rapid Prototyping. Singapore: World Scientific, 2015, s. 151–162. ISBN 978-981-4571-40-1.
21. FDM 3D printing – Fused Deposition Modeling. *Tractus3D* [online]. Waardenburg: Tractus3D, ©2020 [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: <https://tractus3d.com/knowledge/learn-3d-printing/fdm-3d-printing/>
22. Plastics for 3D Printing. FRANCE, Anna Kaziunas. *Make: 3D Printing*. Sebastopol: Maker Media, 2013, s. 93–96. ISBN 978-1-4571-8293-8.
23. 3D Printing Technology Comparison: FDM vs. SLA vs. SLS. *Formlabs* [online]. Somerville (Massachusetts): Formlabs, ©2021 [cit. 2021-02-21]. Dostupné z: <https://formlabs.com/blog/fdm-vs-sla-vs-sls-how-to-choose-the-right-3d-printing-technology/>

24. PHILLIPS, Roger. Photopolymerization. *Journal of photochemistry* [online]. Elsevier B.V, 1984, **25**(1), 79-82 [cit. 2021-02-05]. ISSN 0047-2670. Dostupné z: doi:10.1016/0047-2670(84)85016-9
25. CORRIGAN, Nathaniel, Jonathan YEOW, Peter JUDZEWITSCH, Jiangtao XU a Cyrille BOYER. Seeing the Light: Advancing Materials Chemistry through Photopolymerization. *Angewandte Chemie International Edition* [online]. 2019, **58**(16), 5170-5189 [cit. 2021-02-05]. ISSN 1433-7851. Dostupné z: doi:10.1002/anie.201805473
26. Our Technology. *Structo* [online]. Singapore: Structo 3D, ©2021 [cit. 2021-02-27]. Dostupné z: <https://www.structo3d.com/pages/technology>
27. Peopoly debuts Phenom XXL 3D printer: technical specifications and pricing. *3D Printing Industry: The Authority on Additive Manufacturing* [online]. London: 3D Printing Industry, ©2017 [cit. 2021-02-28]. Dostupné z: <https://3dprintingindustry.com/news/peopoly-debuts-phenom-xxl-3d-printer-technical-specifications-and-pricing-174946/>
28. Průmyslové displeje s otevřeným rámem. *IPC2U.tech* [online]. Praha: iPC2U, ©2021 [cit. 2021-03-09]. Dostupné z: <https://ipc2u.tech/collections/prumyslove-displeje-s-otevrenym-ramem>
29. ČSN EN ISO 14738: Bezpečnost strojních zařízení - Antropometrické požadavky na uspořádání pracovního místa u strojního zařízení. *Technické normy.cz: Zákony, vyhlášky a technické normy* [online]. Frýdek-Místek: BINARGON, ©2000-2008 [cit. 2021-03-26]. Dostupné z: <https://www.technickenormy.cz/csn-en-iso-14738-bezpecnost-strojnich-zarizeni-antropometricke-pozadavky-na-usporadani-pracovniho-mista-u-strojního-zarizeni-1/>
30. KRÁL, Miroslav. *Ergonomie a její využití v technické praxi*. Ostrava: Alexandr Vávra-Vava, 1994. ISBN 80-85798-35-7
31. Zvolte správně. KULA, Daniel, Elodie TERNAUX a Quentin HIRSINGER. *Materiology: Průvodce světem materiálů a technologií pro architektky a designéry*. Praha: Happy Materials, ©2012, s. 237–238. ISBN 978-80-260-0538-4.
32. MGN: miniaturní vedení, úzké. *Matis: Industrial components* [online]. Brno: Matis, [2001] [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: <https://www.matis.cz/cs/produkt/mgn-miniaturni-vedeni-uzke-provedeni>
33. *Proal: Hliníkové profily, tyče, plechy, desky a systémy*. [online]. Ostrava: NPS PROAL, © 2019 [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: <https://proal.cz/>
34. Plexisklo. *Buildex* [online]. Praha: BUILDDEX GROUP, © 2014 - 2021 [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: <https://www.buildex.cz/plexisklo>



35. CHORÝ, Tomáš. *Barva a design*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2014.  
ISBN 978-80-244-4299-0.

# 11 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN

## 11.1 Seznam použitých zkratek

<i>3D</i>	three dimensional, trojrozměrný prostor
<i>SLA</i>	Stereolithography
<i>MSLA</i>	Mask Stereolithography
<i>SLS</i>	Selective Laser Sintering
<i>LOM</i>	Laminated Object Manufacturing
<i>FDM</i>	Fused Deposition Modeling
<i>ABS</i>	Akrylonitrilbutadienstyren
<i>PLA</i>	Polyaktidová vlákna
<i>PEI</i>	Polyetherimidová vlákna
<i>PEEK</i>	Polyetherketonová vlákna
<i>LFS</i>	Low Force Stereolithography
<i>LCD</i>	Liquid Crystal Display
<i>UV</i>	Ultraviolet, ultrafialové záření
<i>USB</i>	Universal Seriál Bus
<i>2K</i>	Rozlišení 2048 × 1080 bodů
<i>4K</i>	Rozlišení 4196 × 2160 bodů
<i>FEP</i>	fluoretylpropylen
<i>L, XL, XXL</i>	large, extra large, extra extra large
<i>IEC</i>	International Electrotechnical Commission
<i>MGN</i>	označení posuvných ložisek
<i>Kč</i>	koruna česká
<i>RAL</i>	ReichsAusschuss für Lieferbedingungen

## 11.2 Seznam použitých veličin

<i>mm</i>	milimetr, délková jednotka
<i>cm</i>	centimetr, délková jednotka
<i>px</i>	Pixely, body
<i>kg</i>	kilogram, hmotnostní jednotka
”	palec
<i>x,y,z</i>	osy trojrozměrného prostoru
°	úhlový stupeň
<i>N</i>	Newton, základní jednotka síly
<i>l</i>	litr, objemová jednotka

## 12 SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

Obr. 2-1 Elegoo Mars. [4] .....	16
Obr. 2-2 Original Prusa SL1. [5] .....	17
Obr. 2-3 Anycubic Photon. [6] .....	18
Obr. 2-4 Anycubic Photon Mono X. [7] .....	19
Obr. 2-5 Phrozen Sonic Mini 4K. [8] .....	20
Obr. 2-6 Creality LD-001. [10] .....	21
Obr. 2-7 Creality LD-002R. [11] .....	22
Obr. 2-8 Form 2. [14] .....	23
Obr. 2-9 Form 3. [16] .....	24
Obr. 2-10 Peopoly Phenom. [17] .....	25
Obr. 2-11 Vrstvy modelu. ....	28
Obr. 2-12 Maskování při fotopolymerizaci. [25] .....	28
Obr. 2-13 Komponenty MSLA tiskárny. (upraveno) [26] .....	29
Obr. 2-14 Automatická kalibrace platformy, výrobce Prusa [5] .....	30
Obr. 2-15 Osa z s platformou a vaničkou, výrobce Peopoly [17] .....	30
Obr. 2-16 LCD displej umístěný v tiskárně Anycubic Photon [6] .....	31
Obr. 2-17 Zdroj UV záření tiskárny Elegoo Mars Pro [4] .....	31
Obr. 3-1 Optimální zorný úhel [30] .....	37
Obr. 4-1 Průběžné skicy .....	38
Obr. 4-2 Modifikace varianty I .....	39
Obr. 4-3 Rozměrové řešení varianty I .....	39
Obr. 4-4 Varianta I .....	40
Obr. 4-5 Modifikace varianty II .....	40
Obr. 4-6 Rozměrové řešení varianty II .....	41
Obr. 4-7 Varianta II .....	41
Obr. 4-8 Modifikace varianty III .....	42
Obr. 4-9 Rozměrové řešení varianty III .....	42
Obr. 4-10 Varianta III .....	43

Obr. 5-1 Tvarové řešení, čelní pohled.....	44
Obr. 5-2 Tvarové řešení, umístění ovladače .....	45
Obr. 5-3 Tvarové řešení, větrací otvory .....	46
Obr. 6-1 Konstrukčně-technologické řešení .....	47
Obr. 6-2 Rozměrové řešení v milimetrech .....	48
Obr. 6-3 Umístění ovladače a portů.....	49
Obr. 6-4 Vanička na pryskyřici.....	49
Obr. 6-5 Platforma .....	50
Obr. 6-6 Osa z .....	50
Obr. 6-7 Nádobka na pryskyřici .....	51
Obr. 6-8 Připojení k elektrické síti .....	52
Obr. 6-9 Nohy tiskárny .....	52
Obr. 6-10 Zorný úhel stojící postavy .....	54
Obr. 6-11 Úchop ovladače oběma rukama .....	54
Obr. 6-12 Otevírání krytu .....	55
Obr. 6-13 Řez vaničkou na pryskyřici s upevněním k tiskárně .....	55
Obr. 6-14 Odnímání platformy .....	56
Obr. 6-15 Odnímání platformy, detail .....	56
Obr. 7-1 Barevné varianty.....	58
Obr. 7-2 Barevné varianty doplňkové barvy.....	59
Obr. 7-3 Finální barevné řešení .....	59
Obr. 7-4 Komplementární barvy .....	60
Obr. 7-5 Barevné řešení ovladače .....	61
Obr. 7-6 Rozbalovací menu ovladače .....	61
Obr. 7-7 Úchop ovladače jednou rukou .....	62
Obr. 7-8 Umístění grafiky na ovladač.....	62
Obr. 7-9 Návrh logotypu.....	63
Obr. 7-10 Umístění grafiky na produkt .....	64
Obr. 7-11 Umístění produktu v prostředí .....	65

## 13 SEZNAM PŘÍLOH

Sumarizační poster (A1)

Zmenšený poster (A4)

# ZMENŠENÝ POSTER



## liquadd

Design kompaktní MSLA 3D tiskárny



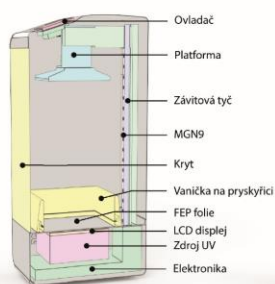
Liquadd je tiskárna fungující na principu stereolitografie. Design je navrhnout pro profesionální designery, modeláře, šperkaře, ale rovněž pro nadšence do 3D tisku. Návrh počítá s výrobou dvou možností, jednou je funkce průběžného doplňování pryskyřice a druhá možnost je bez této funkce. Tato funkce má vliv na cenu produktu.

Hlavním parametrem MSLA 3D tiskárny je prostor pro tisk. Ten je v tomto návrhu (192 × 120 × 280) mm. Rozměry produktu jsou (292 × 236 × 513) mm. Maskovací LCD displej disponuje rozlišením 4K.

Design nese dominantní lem v čelním pohledu, čímž na sebe upozorňuje. Celkové tvarování je pak jednoduché, což nese výhody především z hygienického a ekonomického hlediska. Zvolená kombinace barev je výrazná a poutá pozornost.

Návrh plní další uživatelský komfort v inovativním řešení vnitřních komponentů, v podobě snadné výměny FEP folie díky členění vaničky a dále redukce šroubů v umístění vaničky a také platformy do tiskárny.

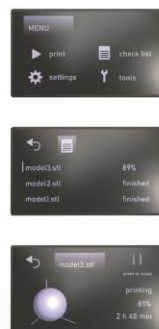
### VNITŘNÍ USPOŘÁDÁNÍ



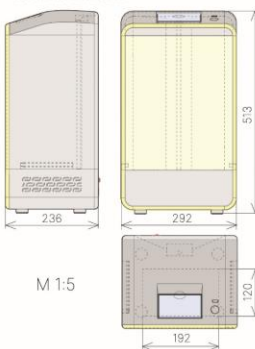
### ERGONOMICKÉ ŘEŠENÍ



### GRAFICKÉ ŘEŠENÍ



### ROZMĚROVÉ ŘEŠENÍ



DESIGN KOMPAKTNÍ MSLA 3D TISKÁRNÝ / BAKALÁŘSKÁ PRÁCE / Autor: Anežka Korábová / Vedoucí práce: Ing. arch. Vladimír Haltof, Ph.D. / VUT v Brně / FSI / ÚK / OPD / 2020/21



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ  
V BRNĚ



ÚSTAV  
KONSTRUOVÁNÍ



odbor  
průmyslového  
designu

